EKO

取扱説明書

Instruction Manual

色素増感太陽電池評価装置

PSL-100

ソフトバージョン：Ver.2.0.xx
ファームバージョン：Ver.081203

取扱説明書バージョン：6

英弘精機株式会社

1. もくじ

2.　お使いいただく前に

この度は英弘精機製品をご利用いただきましてありがとうございます。

ご使用の前に必ずこの取扱説明書をよくお読みになり、正しくお使いください。また、本書は必ず保管して必要なときにお読みください。不明な点やご質問などがありましたら、下記までご連絡ください。

2-1.　連絡先

英弘精機株式会社		www.eko.co.jp
本社	〒151-0072　東京都渋谷区幡ヶ谷 1-21-8	Tel:　(03)3469-6714 Fax:　(03)3469-6719
カスタマー サポートセンター		Tel:　(03)3469-5908 Fax:　(03)3469-5897
関西営業所	〒532-0012　大阪市淀川区木川東 3-1-31	Tel:　(06)6307-3830 Fax:　(06)6307-3860

2-2.　保証と責任について

本製品は、出荷に際し十分な試験および検査を行っております。
万一、製造上の問題による故障あるいは納品輸送中の事故がありましたら、当社までご連絡ください。

本製品をご購入後、正常な使用状態において発生した当社の責任による不具合につきましては、納入後1年間の保証をいたします。

但し、保証期間内にありましても、以下の事項に該当する場合には有償となります。

・取扱説明書記載の使用方法、注意事項をお守りいただけなかったことにより生じた故障・損傷。
・お客様ご自身により改造が施されている場合。
・お客様ご自身による輸送や移動時の落下、衝撃などにより生じた故障・損傷。
・火災、浸水、落雷、地震、およびその他天災地変などの不可抗力事故による故障・損傷。
・消耗品の寿命。

その他、詳細につきましては当社が定める保証規定に従いますので、営業担当者へご相談ください。

2-3. 取扱説明書について

発行日:2013/05/08

バージョン番号:6

2-4. 環境情報について

1. WEEE 指令(Waste Electrical and Electronic Equipment)

本製品は、WEEE 指令 2002/96/EC の対象にはなっておりませんが、一般家庭のゴミとしての廃棄は避けてください。適切に処理、回収、およびリサイクルするには、専門の集積場所もしくは施設へお問い合わせください。

本製品を適切に廃棄する事により、貴重な資源の節約や、人間や環境に及ぼす悪影響を防ぐ事につながります。

2. RoHS 指令(Restriction of Hazardous Substances)

英弘精機では、RoHS 指令 2002/95/EC で規定される有害物質の最大量に準拠していることを保証するため、取扱製品においては、総合的評価を行っています。よって全ての製品は、RoHS 指令 2002/95/EC に規定される有害物質量未満、又は、RoHS 指令 2002/95/EC の付属文書により許容されているレベル未満の原材料を使用しています。

3.　安全にお使いいただくために

当社製品は、安全を十分に考慮して設計・製造されておりますが、お客様の使用状況により思わぬ重大な事故を招く可能性があります。本書をよくお読みになり、使用方法を必ず守りながら正しくお使い下さい。

警告･注意

この表示を無視して誤った取り扱いをすると、感電等のけがによる重傷または死亡を負う可能性があることを示しています。

レーザ注意

この表示を無視してレーザを直視したり、触れたりすると、失明や重傷を負う可能性があることを示しています。

3-1.　警告・注意

- 必ず屋内に設置してご使用ください。
  本装置は「屋内使用」を前提として設計・製作されております。『5-2.設置』項に記載されている設置条件をご確認ください。
- 計測装置本体のカバーは取り外さないでください。
  感電の恐れおよび装置破損の原因となりますので、計測装置のカバーは絶対に取り外さないでください。
  修理・点検が必要な場合は、必ず当社までご連絡ください。
- 異常を感じましたら使用を中止してください。
  本装置から「発煙」、「発熱」、「異臭」および「異音」などの異常を感じましたら、直ちに使用を中止し電源ケーブルを抜いてください。
- 改造、分解しないでください。
  ご自身での「改造」および「分解」は危険ですので絶対に行わないでください。
  英弘精機サービスマン以外による修理・改造が施されている装置においての故障は保証対象外となります。
- 必ず接地してください。
  本装置は必ず接地してご使用ください。装置付属電源ケーブルの３極電源プラグ部を、３極電源コンセントに接続すれば自動的に接地されます。
- 必ず電源電圧をご確認ください。
  本装置は、『5-3.電源接続と接地』項に記載されている電源条件で動作します。電源を接続する前に、電源電圧が本装置の定格に適合しているかご確認ください。

3-2. レーザ注意

- レーザ光を直視しないでください。
  本装置は「レーザ」を使用します。(JIS 安全クラス 3B)
  必ず付属の「レーザゴーグル」を装着のうえ、「レーザ」の操作を行ってください。
- 必ず光学ベンチの扉は閉めてご使用ください。
  本装置は「レーザ」を使用します。(JIS 安全クラス 3B)
  安全のため、測定の際は光学ベンチの扉を閉めてご使用ください。
  又、装置主電源 ON/OFF 時、一瞬「レーザ光」が出力されますので、扉が閉まっていることを確認してから操作を行ってください。

4. 製品概要

色素増感太陽電池評価装置 PSL-100 は、色素増感太陽電池(DSC)に用いる材料設計・開発の指針を電子移動プロセスから得るために開発された測定評価システムです。

本システムでは、SLIM-PCV 法(Stepped Light Induced Measurement of Photo-Current and Voltage)[*1] の測定理論に基づきサンプルセルレベルにおける DSC の電子移動特性である「電子拡散係数(D)」および「電子寿命(τ)」を測定します。

又、DSC セルの「電子拡散係数」および「電子寿命」は一般的に「電子密度」依存を持つことから、本システムではこの「電子密度(n)」を Charge Extraction 法[*2] により測定します。

これらの測定により得られた「光強度依存性」を示すデータを基に解析プロット図を作成し、対象となる DSC セルの「電子移動プロセス」傾向を考察・評価することで、より詳細な材料設計指針を得ることができます。

又、本システムは、サンプルセル劣化を調べるための「I-V カーブ」測定機能も搭載しております。

*1) Nakade,S.;Kanzaki,S.;Wada,Y.;Yanagida,S. *Langmuir 2005, 21, 10803.*
*2) Duffy,N.W.;Peter,L.M.;Rajapakse,R.M.G.;Wijayantha,K.G.U. *Electrochemistry Communications 2000, 2, 658*

4-1. 製品の主な機能

色素増感太陽電池評価装置 PSL-100 は下記の特長を備えています。

1. コンパクトなシステム構成

PSL-100は実際の研究現場での設置状況等を考慮し、「コンパクト」を重視した設計となっております。
「パーソナルコンピュータ」、「計測装置本体」、「光学ベンチ」および「レーザ操作管理機」により構成される測定評価システムの設置スペースは、一般的な作業机1つで十分対応可能です。

2. 配線の簡素化

PSL-100は非常に簡単な配線接続作業を行うことで、容易に計測が可能です。
サンプルセルへのケーブル接続方法には「4 線式」を採用し、測定項目ごとに接続を変更する必要がありません。

3. シンプルな操作性

PSL-100を用いたDSCサンプルセルの測定・評価は、全て付属の「ソフトウェア」により行われます。
ソフトウェア「メイン画面」から希望の測定項目を選択し、パラメータ入力をするだけで「測定結果グラフ」および「測定結果データ」を得ることができます。
測定データを決まったフォーマットの「ファイル名」で保存することにより、簡単に「解析プロット図」を作成できます。

4-2. システム構成

色素増感太陽電池評価装置PSL-100は下記の機器により、測定・評価システムを構成しています。

図 4-2-1. 色素増感太陽電池評価装置 PSL-100

1. 計測装置本体：PSL-100-M

色素増感太陽電池評価装置の計測・制御部となります。

本装置によりサンプルセルの「短絡電流(I_{sc})」、「開放電圧(V_{oc})」計測、サンプルセルへの「バイアス電位印加」制御、「レーザ光の光強度」制御などを行います。

2. 光学ベンチ：PSL-100-O

色素増感太陽電池評価装置の光学調整部となります。

本ベンチ内に測定対象となるDSCサンプルセルをセットします。

測定の励起光源となる「半導体レーザ」、照射面積を調節する「レンズ」などの光学部品が装備されており、サンプルセル受光面への光照射調整を行います。

3. レーザ操作管理機： PSL-100-L

色素増感太陽電池評価装置に用いる「半導体レーザ」の操作管理部となります。

光学ベンチ内に設置されたレーザの取扱管理および安全に関わる制御を行います。

又、オプションとして追加された複数のレーザを切替える機能も装備しております。

4. パーソナルコンピュータ

専用のソフトウェアをインストールし、シリアルポートを介して計測装置本体とのデータ通信を行います。

この専用ソフトウェアにより「測定条件」の設定、「測定データ」の保存、「解析演算」が行われます。

又、「解析プロット図」の描画機能もソフトウェアに含まれております。

※本書では、以下「パーソナルコンピュータ」の表記部を「PC」と略記します。

5. 使用前の準備

5-1. 梱包内容および外観の確認

はじめに、梱包内容をご確認ください。不足、または破損しているものなどがあった場合は、直ちに当社までご連絡ください。
パネル面やつまみ、コネクタ類に傷やへこみがないことを確認してください。

表 5-1. 梱包内容

標準付属品	個数	詳細	
計測装置本体(PSL-100-M)	1台	下記が付属しています。	
	1本	電源ケーブル:	3P コンセントプラグ型
	1本	USBケーブル:	サンワサプライ社製:KU-AMB510
	1本	サンプルセル接続ケーブル:	4芯シールド線、プラグ対クリップ
	1本	予備ヒューズ:	ガラス管、φ6.4×30mm、250V/6A
	2本	シールドケーブル:	黄/緑スパイラル線、1.5m
光学ベンチ(PSL-100-O)	1台	下記が付属しています。	
	1枚	光学レンズ(平凸レンズ):	シグマ光機社製:SLB-30-60P
	1枚	光学レンズ(平凹レンズ):	エドモンド社製:45020-H
	1枚	標準半導体レーザ:	キコー技研社製: MLX-D12-660-40-EOC2
	1本	白金抵抗体:	Pt-100、留具付き
	1式	光量センサ:	ML-020SLV BNC変換プラグ付き
	1式	光学部品取付けベース板:	予備用スペーサ
	1個	レーザゴーグル:	山本光学社製:YL-331M
レーザ操作管理器(PSL-100-L)	1台	下記が付属しています。	
	1本	装置電源ケーブル:	3Pコンセントプラグ型
	1本	レーザ制御信号ケーブル:	2芯シールド線、両端プラグ
	1本	予備ヒューズ:	φ6.4×30mm、250V/3A
ノート型PC	1台	下記がプレインストールされています: Microsoft® Windows7 Home Premium 64bit 日本語版 専用ソフトウェア"PSL-100" システム通信用ドライバ	
CD-ROM	1枚	取扱説明書(本書)、ソフトウェアPSL-100、通信用ドライバ	
検査証	1部		

5-2. 設 置

1. 安全の確認

本装置を安全にご使用いただくため、取扱説明書の『3. 安全にお使いいただくために』をはじめにお読みください。

また、PSL-100 を設置する際には、安全のため下記の事項をお守りください。

2. 設置位置

計測装置本体(PSL-100-M), 光学ベンチ(PSL-100-O)および、レーザ操作管理機(PSL-100-L)の底面にはゴム足があります。

必ずゴム足が平らな面に乗るよう設置してください。

3. 設置場所

- ➢ PSL-100は「屋内使用」を前提として設計・製作されております。
  必ず屋内にてご使用ください。
- ➢ 計測装置本体(PSL-100-M)および、レーザ操作管理機(PSL-100-L)横面には通風スリットがあります。
  装置内部温度が異常上昇しないよう、この面をふさがないスペースを確保してください。
- ➢ 光学ベンチ(PSL-100-O)は測定の都度扉を開閉します。
  扉開閉の障害とならない場所をお選びください。
- ➢ 本製品では「半導体レーザ」を使用します。
  レーザ光の位置が目の高さと同じになる場所への設置はおやめください。

4. 設置環境条件

屋内でありましても、以下の温湿度環境条件をお守りください。

・周囲温度 : +10℃～+40℃

・湿度 : 70%以下(但し、結露のないこと)

屋内でありましても、次のような場所には設置しないでください。

・可燃性ガスのある場所。

・直射日光の当たる場所。

・腐食性ガスや多量の塵埃が発生する場所。

・電磁界発生器、高電圧機器に近接する場所。

・振動の激しい場所。

⚠警告・注意:

- ✧ 装置異常発熱、発煙、発火の恐れがありますので、必ず上記事項をお守りください。
- ✧ 装置落下などによる事故の原因となりますので、必ず上記事項をお守りください。
- ✧ レーザ光により失明する恐れがありますので、必ず上記事項をお守りください。
- ✧ 手や指をはさむなど事故の原因となりますので、必ず上記事項をお守りください。

5-3. 電源接続と接地

装置を安全にご使用いただくため、下記電源条件および接地をお守りください。

1. 接地

本装置は必ず接地してご使用ください。

装置付属電源ケーブルの3極電源プラグ部を、3極電源コンセントに接続すれば自動的に接地されます。

本装置には｢3極－2極　変換アダプタ｣が付属しておりませんが、この変換アダプタを使用する際には必ず接地線を接地端子に接続してください。

2. 電源条件

本装置は必ず下記の電源条件でご使用ください。

・電圧範囲:　AC100V　±10%

・周波数範囲:　50Hz/60Hz

・消費電力:　25VA以下　(計測装置本体のみ)

本装置は特別なご指示が無い場合、国内向けAC100V仕様で出荷されます。

この他の用途でご使用される場合には、当社までご連絡ください。

3. 電源の接続

本装置ご使用の際は、必ず付属の電源ケーブルを用い、下記の順で接続を行ってください。

(1)　レーザ操作管理機(PSL-100-L)背面の電源インレットに電源ケーブルを接続し、計測装置本体(PSL-100-M)背面のサービスコンセントへ接続します。

(2)　計測装置本体(PSL-100-M)背面の電源インレットに電源ケーブルを接続します。

(3)　電源ケーブルの3極電源プラグ部を、商用電源(3極電源コンセント)へ接続します。

⚠警告・注意:

✧　装置異常発熱、発煙、発火の恐れがありますので、必ず上記事項をお守りください。

✧　感電の恐れ、および装置破損の原因となりますので、必ず上記事項をお守りください。

6. 製品取扱方法

6-1. 各部の名称とはたらき

本装置を安全に正しくご使用いただくため、色素増感太陽電池評価装置構成機器のはたらきを説明します。

1. 計測装置本体(PSL-100-M)

色素増感太陽電池評価装置の計測・制御部となり、以下の機能を有しております。

- 色素増感太陽電池(DSC)サンプルセルの短絡電流(I_{sc})計測
- DSCサンプルセルの開放電圧(V_{oc})計測
- DSCサンプルセルへの「バイアス電位印加」制御
- DSCサンプルセル受光面への「レーザ光照射」制御
- 「レーザ光強度」モニター
- 光学ベンチ(PSL-100-M)内部温度計測

(1) フロントパネル部

計測装置本体の「フロントパネル部」は次図(図6-1-1)となります。

図 6-1-1. 計測装置本体フロントパネル

① POWER: 計測装置本体の「主電源ボタン」となります。
本ボタンを押し「黄緑色灯」が点灯しますと装置主電源がONとなり、アイドリング状態となります。再度ボタンを押し「黄緑色灯」が消灯しますと装置主電源がOFFとなります。

⚠ 警告&注意: 必ず、光学ベンチの扉が閉まっていることを確認してから操作を行ってください。

② RESET: 計測装置本体の「リセットボタン」となります。
本ボタンを押しますと計測装置本体の動作がリセットされ、アイドリング状態へと戻ります。
計測装置本体の主電源をONとしたままソフトウェアを再起動する場合には、本ボタンを押しリセットしてください。

③　ERROR:　計測装置本体の「エラーランプ」となります。
装置にエラーが発生しますと「燈色灯」が点灯します。
本ランプが点灯した際には「②RESET」ボタンを押し、装置をリセットしてください。
⚠ 警告&注意:　本装置に異常を感じましたら直ちに使用を中止し、電源ケーブルを抜いてください。

④　DISPLAY:　計測装置本体内部の各計測回路リアルタイムモニターです。
主電源をONしますと初期化画面の後、右図(図6-1-2)のように数値表示を行います。

図 6-1-2. DISPLAY 表示例

(2)　リアパネル部
計測装置本体の「リアパネル部」は次図(図6-1-3)となります。

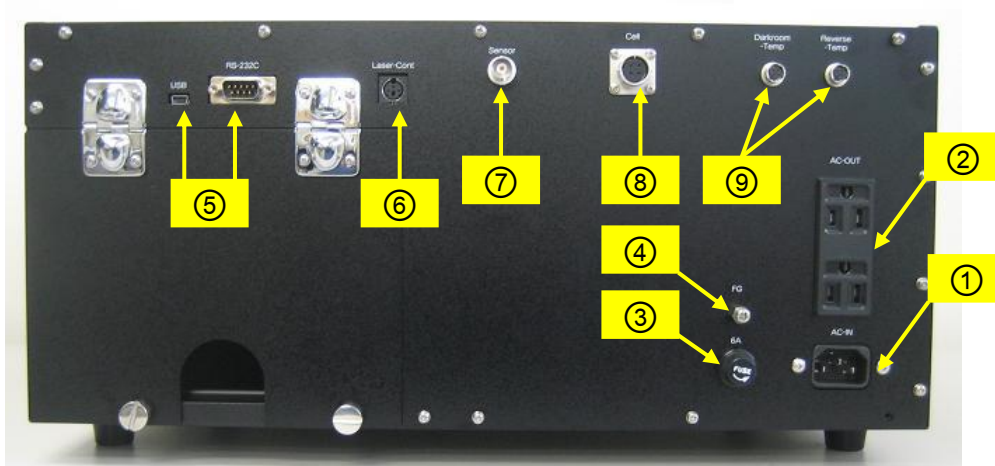



図 6-1-3. 計測装置本体リアパネル

①　AC-IN　計測装置本体への電源取り込み口です。
必ず付属の電源ケーブルをご使用ください。
⚠ 警告&注意:
✧　感電および装置損傷の原因となりますので、必ず上記事項をお守りください。
✧　感電および装置損傷の原因となりますので、本装置は必ず接地してご使用ください。

②　AC-OUT　周辺機器への電源(商用電源)供給用のサービスコンセントです。
2つのコンセント口合わせて3[A]以下でご使用ください。
⚠ 警告&注意:　思わぬ事故および装置損傷の原因となりますので、必ず上記事項をお守りください。

③　6A (FUSE)　計測装置本体の電源ライン保護用ヒューズです。
φ6.4×30mm、250V/ 6Aのガラス管ヒューズを使用しております。
⚠ 警告&注意:　思わぬ事故および装置損傷の原因となりますので、必ず上記定格をお守りください。

④	FG	計測装置本体の筐体を接地するためのアース端子です。 又、測定データへのハムノイズ混入を防止するため、付属のシールドケーブルを用い、本FG端子と光学ベンチ(PSL-100-O)筐体間および、本端子とレーザ操作管理機(PSL-100-L)のFG端子間を接続します。
	⚠ 警告&注意:	感電および装置損傷の原因となりますので、本装置は必ず接地してご使用ください。
⑤	USB、RS-232C	計測装置本体と専用ソフトウェアがインストールされたPC間の通信ポートです。 通常はUSB側を使用します。(両方同時には使用できません。)
⑥	Laser Cont	測定に用いる半導体レーザの制御信号出力口となります。 付属の「レーザ制御信号ケーブル」を用い、本コネクタとレーザ操作管理機(PSL-100-L)”IN”コネクタ間を接続します
⑦	Sensor	付属の「光量センサ(ML-020SLV)」を接続する端子で、BNC－バナナチップジャック変換プラグを用いて接続します。 光量センサを接続することにより、装置フロントパネル部「④DISPLAY」の”Photo”欄に計測値を表示します。（センサの電流出力100mA当たり200mVに変換し表示します。参考値としてご使用ください。）
⑧	CELL	付属の「セル接続ケーブル」を接続する端子です。
⑨	Darkroom-Temp、 Reverse-Temp	付属の「白金抵抗体(Pt-100)」を接続する端子です。通常は ”Darkroom-Temp” 側を使用します。 白金抵抗体を接続しますと、装置フロントパネル部「④DISPLAY」の”Dark-Temp”欄に計測温度値を表示します。(参考値としてご使用ください。)

2. 光学ベンチ(PSL-100-O)

色素増感太陽電池評価装置の光学調整部となります。

本ベンチ内に測定対象となるサンプルセルをセットし、励起光源となる「レーザ」、照射面積を調節する「レンズ」などの光学部品を調整することで、サンプルセル受光面への光照射を行います。

図 6-1-4. 光学ベンチ

(1) 光学ベンチの開閉

a. 光学ベンチの開け方

光学ベンチ正面の把手部を両手で握り、前扉を手前へ引きます。次に、上扉を静かに上げます。

b. 光学ベンチの閉め方

光学ベンチ上扉を静かに下ろします。次に、前扉をしっかりと閉めます。

⚠ 警告・注意: 手や指をはさむなど事故の原因となりますので、必ず上記事項をお守りください。

c. 光学ベンチ扉開閉スイッチ

光学ベンチ内部には測定に用いる「半導体レーザ」が設置されています。
このレーザは「JISレーザ製品の安全基準(JISC 6802)」において「クラス3B」に相当する、非常に強い光強度を発するものとなります。

このため本システムでは安全性を考慮し、光学ベンチ扉開閉状態を常時監視するためのスイッチを取り付けております。(図6-1-5)

図 6-1-5. 扉開閉スイッチ

本スイッチはレーザ操作管理機(PSL-100-L)と連動しており、システム操作中にベンチ前扉を開けた場合、レーザから発せられる光の強度を即座に安全と見なされるレベルまで減光するよう動作します。

通常の操作において、ユーザーが本スイッチに触れることのないよう取り付け位置の設計を行っておりますが、「意図的に物を詰め込む」などの行為をされますと、安全機能が正常に作動しなくなります。十分にご注意ください。

警告・注意:

✧ 装置破損の恐れがありますので、必ず上記事項をお守りください。

✧ 本システムでは"JIS 安全クラス 3B"のレーザを使用します。取り扱いには十分ご注意ください。

(2)　光学部品構成

光学ベンチの内部は次図(図6-1-6)となります。

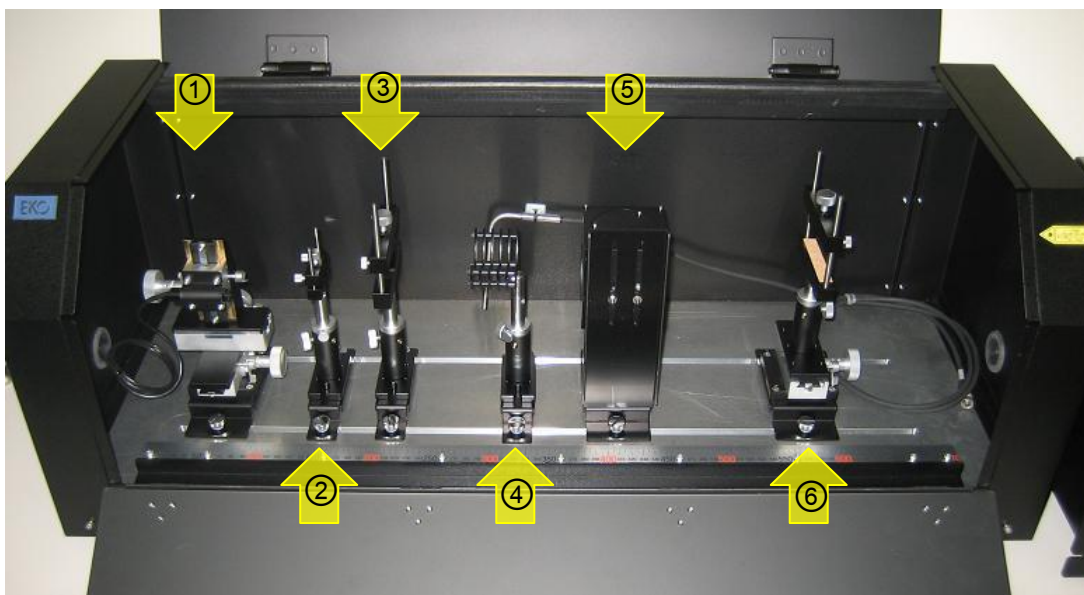



図 6-1-6. 光学ベンチ内部

①	XYZ軸ステージ:	半導体レーザを固定するためのステージです。 通常のSLIM-PCV法測定で必須の光学部品となります。
②	バータイプレンズホルダー:	付属の「平凹レンズ(45020-H)」を搭載するためのレンズホルダーです。
③	レンズホルダー:	付属の「平凸レンズ(SLB-30-60P)」を搭載するためのレンズホルダーです。 通常のSLIM-PCV法測定で必須の光学部品となります。
④	マルチプル フィルタホルダー:	レーザからの照射光量を「NDフィルタ」などで減光させる場合に使用するホルダーです。
⑤	ハーフミラー:	レーザからの照射光線を水平方向50%、直角方向50%に振り分けるミラーです。
⑥	X軸ステージ:	測定対象となるDSCセルを設置するステージです。 通常のSLIM-PCV法測定で必須の光学部品となります。

(3)　光学部品セッティング

a.　光学ベンチレール

各光学部品は光学ベンチ内の「レール」上に固定されています。

それぞれの距離調整のため光学部品を移動させる際には、部品ベース部を固定している「ローレットつまみ(2箇所)」を少し弛め、「レール」に沿って移動させます。

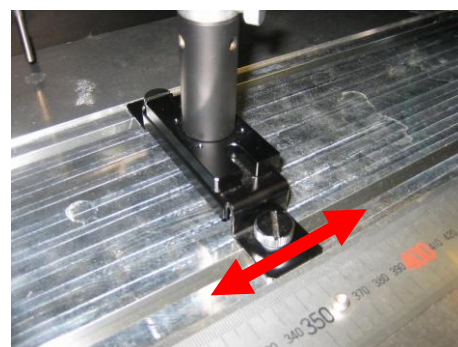



図 6-1-7. 光学ベンチレール

移動位置が決まりましたら、「ローレットつまみ」をしっかりと締め「レール」上に固定します。
尚、この「レール」と平行して「スケール」が取り付けられておりますので、移動の際の目安としてください。

b.　光学部品の取外しとポストの高さ調整

各光学部品はポストに取付けられております。
取外しの際は、ポスト横にあるつまみを弛め、光学部品を上方向へ引き抜きます。

各光学部品の高さ調整を行う場合にも同様に、ポスト横にあるつまみを弛め、部品を上下させます。

高さ位置が決まりましたら、まず「サポート」から固定し、向きを調整してから「ポスト」を固定します。

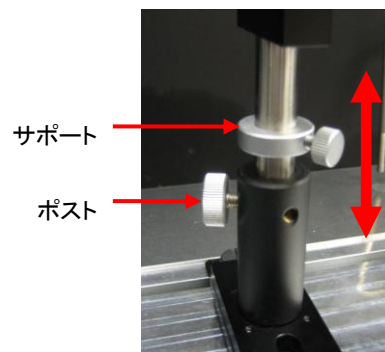



図 6-1-8. 光学ベンチポスト

c.　レーザの取付け

XYZ軸ステージに取り付けられたレーザホルダーには、最大2種のレーザを搭載することができます。(図6-1-9)

ホルダーの下部には、レーザ本体を安定させるための溝が2本彫られていますので、標準のレーザのみ搭載する場合はXYZ軸ステージ取付面から見て内側(奥側)の溝に合わせて、オプションのレーザを追加する場合にはXYZ軸ステージ取付面から見て外側(ドア側)の溝に合わせて、それぞれ固定します。

図 6-1-9. レーザホルダー

レーザを搭載する際は、先ずホルダー上部中央寄りにあるローレットネジが弛められていることを確認のうえ、ホルダー後方からレーザ発光部を溝上滑らすよう挿入します。
レーザの照射口がホルダー前面から出ましたら、先程のローレットネジで押さえるように締めつけ、レーザを固定します。(図6-1-10)

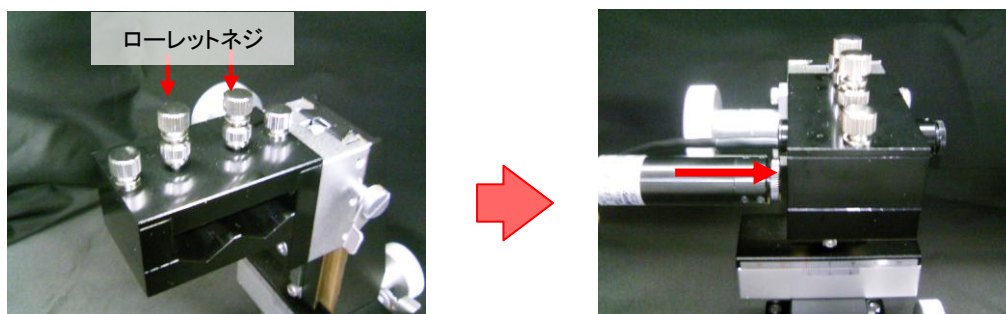



図 6-1-10. レーザ取付

(4)　レンズホルダーへのレンズ取付け

レンズホルダーの「押さえ部」横にある2つのつまみを弛め、ガイドに沿って上方向へ動かします。

レンズホルダー「支持部」にある切り込みに合わせて「レンズ」を装着します。
「レンズ」を指で固定しながら上からゆっくりとホルダー「押さえ部」を下ろし、「レンズ」上部に軽く触ったところで2つのつまみを締めます。

最後に「押さえ部」上側にあるつまみを締めて行き、レンズを固定します。

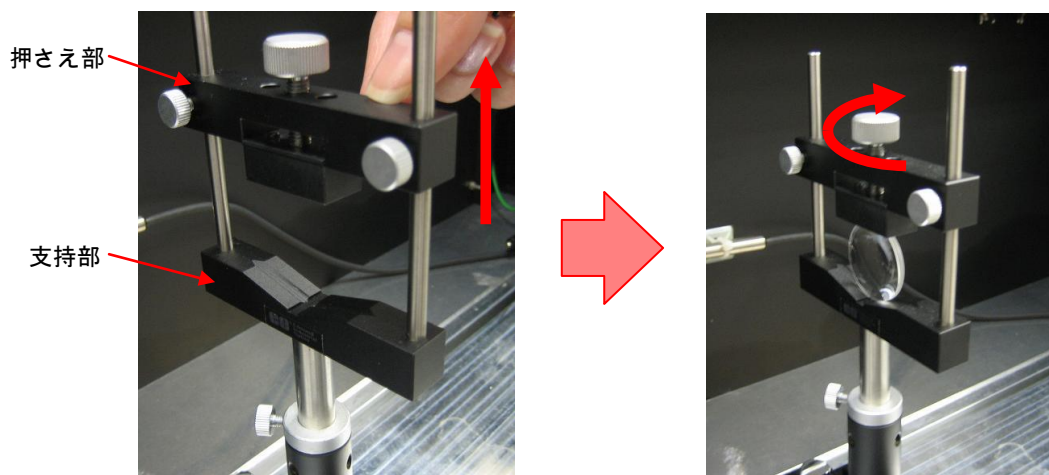



図 6-1-11. レンズの取付け

(5)　サンプルセルの取付け

サンプルセルホルダーの「押さえ部」横にある2つのつまみを弛め、ガイドに沿って上方向へ動かします。

サンプルセルホルダー「支持部」にある絶縁シートの上に「サンプルセル」を装着します。
この時、サンプルセルの電極部分がホルダー金属部に接触しないよう十分注意をしてください。

「サンプルセル」を指で固定しながら上からゆっくりとホルダー「押さえ部」を下ろし、セル上部に軽く触ったところで2つのつまみを締めます。

最後に「押さえ部」上側にあるつまみを締めて行き、セルを固定します。

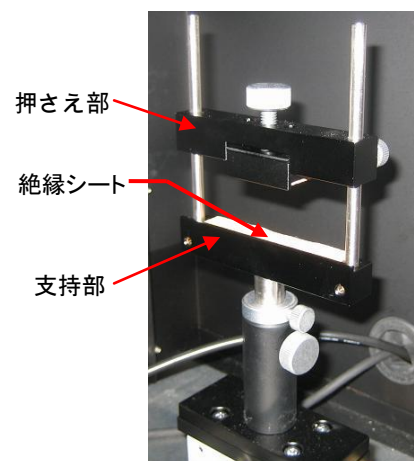



図 6-1-12. セルの取付け

(6)　ハーフミラーの取外しと高さ調整

ハーフミラーは2つのナットで「支持台」に固定されております。
取外しの際には、必ずハーフミラー部を手で支えながら、固定しているナットを外します。

高さ調整を行う場合も同様に、必ずハーフミラー部を手で支えながら、固定しているナットを弛めます。
高さ位置が決まりましたら、2つのナットを締めて固定します。

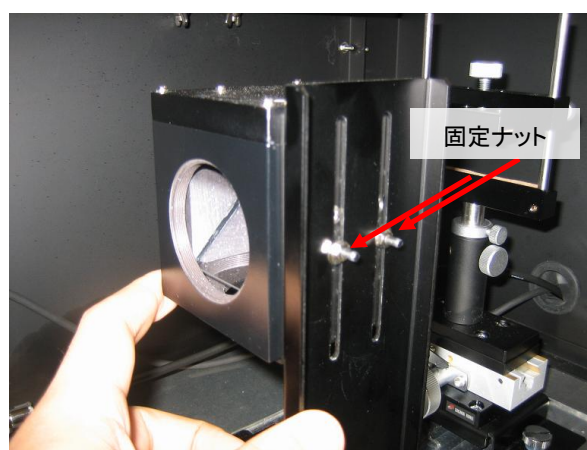



図 6-1-13. ハーフミラーの取外し

⚠警告・注意:

✧　手や指をはさむなど事故の原因となりますので、必ず上記事項をお守りください。

✧　無理な取り扱い又は操作を行った場合、破損の原因となりますので、必ず上記事項をお守りください。

3. レーザ操作管理機(PSL-100-L)

色素増感太陽電池評価装置に用いる「半導体レーザ」の操作管理部となります。

本システムで使用する「半導体レーザ」は「JISレーザ製品の安全基準(JIS C 6802)」において「クラス3B」に相当しますので、その取り扱いには十分な注意が必要となります。
このため、本機は制御装置本体(PSL-100-M)および、光学ベンチ(PSL-100-O)との連動機能を含め、以下の安全機能を備えております。

① 発光警告機能　光学ベンチ(PSL-100-O)内で半導体レーザが発光している間は常に赤色表示灯を点灯させ、視覚的な警告を行います。

② 減光機能　半導体レーザが発光している状態で光学ベンチ(PSL-100-O)の扉を開けた場合、レーザから出力される光の強度を、速やかに安全と見なされるレベルまで減光します。

③ キー制御機能　半導体レーザの操作をおこなえるユーザーが特定可能となるよう、ユーザーキー(鍵)が設けられています。所定の箇所に鍵が挿入されない限り、半導体レーザを発光させることはできません。

④ 非常停止機能　半導体レーザの発光中、動作に異常を感じた場合には、押しボタン1つを押下するだけでレーザ光出力を遮断することができます。

又、本機はオプションのレーザを追加した際、複数のレーザ操作を切り替える機能も有しております。

⚠ 警告&注意:　本システムでは「JIS安全クラス3B」のレーザを使用します。取り扱いには十分ご注意ください。

(1) フロントパネル部

レーザ操作管理機(PSL-100-L)の「フロントパネル部」は次図(図6-1-14)となります。

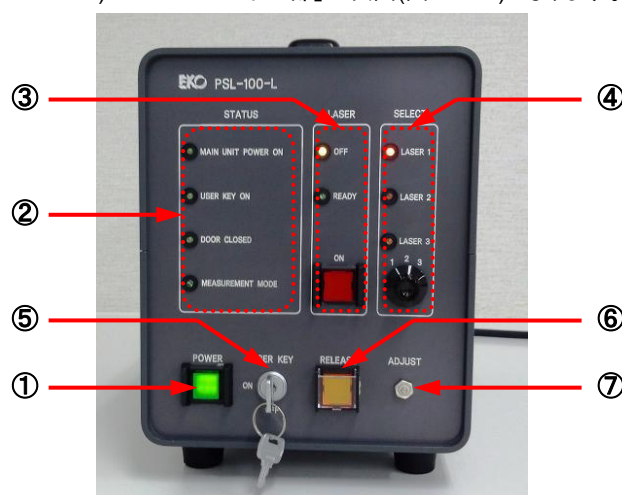



図 6-1-14. PSL-100-L フロントパネル

① POWER:　レーザ操作管理機の「主電源ボタン」となります。
本ボタンを押し「緑色灯」が点灯しますと機器主電源がONとなります。
再度ボタンを押し「緑色灯」が消灯しますと機器主電源がOFFとなります。

② STATUS LEDブロック: 計測装置本体(PSL-100-M)および、光学ベンチ(PSL-100-O)との連動状態、又、自機(PSL-100-L)の管理状態をLEDで表示します。

a. MAIN UNIT POWER ON: 計測装置本体(PSL-100-M)の主電源状態を緑色LEDで表示します。
装置の主電源がONの場合に点灯、OFFの場合に消灯となります。

b. USER KEY ON: 自機(PSL-100-L)のレーザ使用許可(認証)状態を緑色LEDで表示します。
「⑤USER KEY」にレーザ使用者キー(鍵)を挿入し、ON位置へ回転させますと点灯、OFF位置へ回転あるいは鍵が挿入されていない場合に消灯となります。

c. DOOR CLOSED: 光学ベンチ(PSL-100-O)の扉開閉状態を緑色LEDで表示します。
ベンチ扉が閉じている場合に点灯、開いている場合に消灯します。
レーザ光が出力されている状態で本LEDが消灯しますと(ベンチ扉が開状態)、レーザから出力される光の強度は強制的に安全と見なされるレベルまで減光します。

d. MEASUREMENT MODE: 「③c.ON」ボタンが点灯中に光学ベンチの扉が閉まりますと、SLIM-PCV測定実行モードへと移行し、本LEDが緑色に点灯します。

③ LASER LEDブロック: レーザの出力管理状態をLEDおよび、ランプで表示します。

a. OFF: レーザの出力許可条件が未完である場合、黄色LEDの点灯によりOFF状態であることを示します。又、外部インターロック信号がON状態の場合、黄色LEDの点滅によりOFF状態であることを示します。
本LEDの点灯中又は点滅中は、「③c.ON」ボタンの操作が無効となり、レーザを発光させることはできません。

b. READY: 「②a.MAIN UNIT POWER ON」LEDおよび、「②b.USER KEY ON」LEDの両灯が点灯している場合、レーザの出力許可条件が完了となりますので、緑色LEDの点灯によりレーザの発光準備完了(READY)状態であることを示します。
本LEDが点灯しますと、「③c.ON」ボタンの操作が有効となります。

c. ON: レーザの光出力をON/OFFする「操作ボタン」です。
「③b.READY」LEDが点灯中に本ボタンを押下しますと、ボタンが赤色に点灯しレーザからの光出力を開始します。
レーザ光出力中に再度本ボタンを押下しますと光出力を止めボタンも消灯し、READY状態へと戻ります。
尚、光学ベンチの扉が開いた状態でレーザ光出力を開始しますと、安全と見なされるレベルまで減光された光が出力されます。

④ SELECT LEDブロック: オプションのレーザを追加し複数のレーザを用いて測定を行う際、最大3系統のうち現在どのレーザが選択されているかを燈色LEDで示します。
レーザの選択操作はLED下部にある「セレクタスイッチ」で行います。
尚、何れかのレーザ光出力中に他のレーザへと切替操作を行った場合、安全のため「セレクタスイッチ」を切替えたタイミングでレーザからの光出力を遮断します。
※ 通常の出荷時、本セレクタスイッチは“1”と“2”の選択のみとなります。

⑤　USER KEY:　レーザ使用者キー(鍵)の挿入溝です。
本鍵溝に専用キーを差し込み、ON位置へ回転させますと、レーザの使用許可(認証)状態となり、「②b.USER KEY ON」LEDが点灯します。
専用キーがOFF位置にある場合のみ、キーの抜き差しが可能です。

⑥　RELEASE:　通常時は安全性を考慮し、光学ベンチの扉を開けた状態でレーザからの光出力をONした場合、安全と見なされるレベルまで減光された光を出力しますが、光学ベンチの扉を開けた状態で任意の光強度にレーザ光を設定したい場合、本ボタンを使用します。

「光学ベンチの扉が開いている状態」且つ「レーザからの光出力がONの状態」で本ボタンを押下しますと、ボタンが燈色に点滅し減光出力機能が解除されます。

ボタンが燈色に点滅している間はソフトウェアからのレーザ制御が可能となりますので、任意の光強度をソフトウェア画面上から設定します。
本ボタン点滅中に再度ボタンを押下しますと消灯し、減光出力機能が回復します。

⑦　ADJUST　レーザから減光された光が出力されている際、その光強度を微調整するために設けられた可変抵抗器です。
精密ドライバー(マイナス)等を用い、時計回り方向に回転させますと光強度が微増し、反時計回り方向に回転させますと光強度が微減します。
ソフトウェアからの光強度設定値、概ね0.500V～0.900Vに相当する値の間で微調整可能です。

(2)　リアパネル部

レーザ操作管理機(PSL-100-L)の「リアパネル部」は次図(図6-1-15)となります。

図 6-1-15. PSL-100-L リアパネル

① AC-IN: レーザ操作管理機への電源取り込み口です。
必ず付属の電源ケーブルを使用します。

⚠ 警告&注意:
- ✧ 感電および装置損傷の原因となりますので、必ず上記事項をお守りください。
- ✧ 感電および装置損傷の原因となりますので、本装置は必ず接地してご使用ください。

② FUSE 3A: レーザ操作管理機の電源ライン保護用ヒューズです。
φ6.4×30mm、250V/3Aのガラス管ヒューズを使用しております。

⚠ 警告&注意: 思わぬ事故および装置損傷の原因となりますので、必ず上記事項をお守りください。

③ FG: レーザ操作管理機の筐体を設置するためのアース端子です。
又、測定データへのハムノイズ混入を防止するため、付属のシールドケーブルを用い、本FG端子と計測装置本体(PSL-100-M)のFG端子間を接続します。

⚠ 警告&注意: 感電および装置損傷の原因となりますので、本装置は必ず接地してご使用ください。

④ LASER CONTROL
コネクタブロック: レーザへの「電源供給」および「制御信号」の入出力コネクタブロックです。

a. IN: 計測装置本体(PSL-100-M)からの制御信号入力コネクタです。
付属の「レーザ制御信号ケーブル」を用い、本コネクタと計測装置本体(PSL-100-M)"Laser Cont"コネクタ間を接続します。

b. OUT-1: 標準レーザの接続コネクタです。
フロントパネルのレーザセレクタスイッチ "1" が選択されている場合、本コネクタに接続されたレーザへ制御信号を送ります。

c. OUT-2: オプションレーザの接続コネクタです。
フロントパネルのレーザセレクタスイッチ "2" が選択されている場合、本コネクタに接続されたレーザへ制御信号を送ります。

d.　OUT-3:　　オプションレーザの接続コネクタです。
フロントパネルのレーザセレクタスイッチ “3” が選択されている場合、本コネクタに接続されたレーザへ制御信号を送ります。

⑤　端子台:　　光学ベンチとの連動接点信号入力用および、外部インターロック接点信号入力用の端子台です。

a.　DOOR SW:　　光学ベンチに取り付けられたドア開閉スイッチからの連動信号ケーブルを接続します。“+” 側にケーブル白端子を、”-“ 側にケーブル黒端子を接続します。

b.　INTER LOCK:　　緊急時、外部からの接点信号によりレーザの出力を強制遮断することができます。(インターロック機能)
外部にスイッチなどを用意し、端子台の “+”、”-“ 間を短絡(ショート)させますと、短絡させている間、レーザの発光を禁止状態に保持できます。

⑥　EXT. DO　コネクタ:　　外部拡張用信号を出力するコネクタで、レーザの動作状態に同期した下記信号を出力します。

尚、出力信号の仕様は装置内部電気信号グランドと絶縁されたトランジスタによる電流出力回路方式を採用しております。(最大駆動電流は10mAとなります)
EXT.DOの回路概要と一般的な信号受信回路例を次図(図6-1-16)に記します。

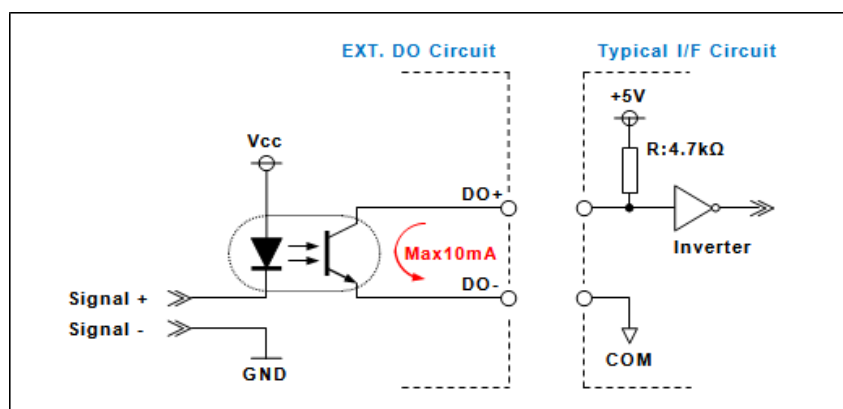



図 6-1-16. EXT. DO 回路

a.　LASER ON (1pin-8pin間):　　フロントパネルLASERブロックの“ON”ボタンと同期した信号を出力します。1pinが“DO+”、8pinが“DO-”となります。
ボタンが点灯中はドライブ電流が出力されます。

b.　RELEASE (2pin-9pin間):　　フロントパネル“RELEASE”ボタンと同期した信号を出力します。
2pinが“DO+”、9pinが“DO-”となります。
ボタンが点灯中はドライブ電流が出力されます。

c.　INTER LOCK (3pin-10pin間):　　リアパネル端子台の“INTER　LOCK”信号と同期した信号を出力します。3pinが“DO+”、10pinが“DO-”となります。
“INTER LOCK”が“ON”の場合、ドライブ電流が出力されます。

6-2. 構成機器間の接続

色素増感太陽電池評価装置の構成機器間接続方法は下図(図6-2-1)のようになります。

図 6-2-1. 構成機器間接続

各ケーブルを接続する際には、コネクタ形状および向きに十分注意してください。
無理な脱着を行いますと、装置破損の原因となります。

警告・注意: 装置破損の恐れがありますので、必ず上記事項をお守りください。

又、ご自身でコネクタおよびプラグの改造を行わないでください。
改造の必要が生じた際には、当社までご連絡ください。

警告・注意: 思わぬ事故および装置破損の原因となりますので、ご自身での改造は絶対に行わないでください。

① USBケーブル
専用ソフトウェアがインストールされたPCと計測装置本体(PSL-100-M)の"USB" コネクタ間を接続します。

② 白金抵抗体ケーブル
光学ベンチ(PSL-100-O)内に設置された白金抵抗体(Pt-100)のケーブルを、計測装置本体(PSL-100-M)の"Darkroom-Temp" コネクタへ接続します。

③ 光量センサーケーブル
光学ベンチ(PSL-100-O)内に設置された光量センサ(ML-020-SLV)のケーブルを、計測装置本体(PSL-100-M)の "Sensor" コネクタへ接続します。
尚、センサーケーブルの先端処理とコネクタの形状が異なりますので、付属のBNC－バナナチップジャック変換プラグを介して装置本体と接続してください。

④ セル接続ケーブル

測定に用いる色素増感太陽電池サンプルセルと計測回路を結ぶケーブルで、計測装置本体(PSL-100-M)の”Cell” コネクタにケーブルのプラグ側を接続します。

又、本ケーブルの逆端側は「ワニロクリップ」加工され、4本に別れております。

「赤クリップ」のついた2線をセルの正極(+)側へ
「黒クリップ」のついた2線をセルの負極(-)側へ
それぞれ接続します。(図6-2-2)

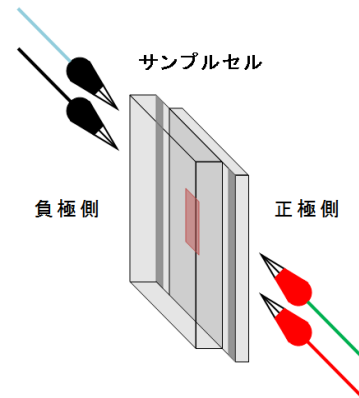



図 6-2-2. セルへの接続

⑤ レーザ制御信号ケーブル

レーザへの制御信号を転送するケーブルです。
計測装置本体(PSL-100-M)の ”Laser Cont” コネクタとレーザ操作管理機(PSL-100-L)の “IN” コネクタ間を本ケーブルで接続します。

⑥ レーザケーブル

光学ベンチ(PSL-100-O)内に設置されたレーザのケーブルを、レーザ操作管理機(PSL-100-L)の“OUT-1” コネクタへ接続します。
オプションのレーザが追加されている場合には、追加されたレーザの数に応じ“OUT-2”、“OUT-3”コネクタへ順に接続します。

⑦ ドア開閉スイッチ連動信号ケーブル

光学ベンチ(PSL-100-O)内に設置されたドア開閉スイッチからの連動信号ケーブルを、レーザ操作管理機(PSL-100-L)の端子台 “DOOR SW” へ接続します。
“+” 側にケーブル白端子を、”-“ 側にケーブル黒端子を接続します。

⑧ シールドケーブル

測定データへのハムノイズ重畳を極力抑えるため、計測装置本体(PSL-100-M)のFG端子と光学ベンチ(PSL-100-O)筐体間および、計測装置本体(PSL-100-M)FG端子とレーザ操作管理機(PSL-100-L)FG端子間をシールドケーブルで接続し、各筐体間を同電位とします。

7.　測定原理

本システムでは測定・評価の手法として **SLIM-PCV 法**[*1] を採用し、サンプルセルレベルにおける DSC の電子移動特性である「**電子拡散係数(D)**」および「**電子寿命(τ)**」を測定します。
又、DSC セルの「電子拡散係数」および「電子寿命」は一般的に「電子密度」依存を持つことから、本システムではこの「**電子密度(n)**」を **Charge Extraction 法**[*2] により測定します。

ここでは、「電子拡散係数」、「電子寿命」および「電子密度」の測定原理について説明します。

1. 電子拡散係数

SLIM-PCV法による「電子拡散係数」の測定は、DSCセルの受光面に対する照射光強度をステップ状に微小変化させ、この時セルから出力される短絡電流(I_{sc})の「過渡応答波形」を測定・解析することで行われます。

この測定法における「電子拡散係数」とは、以下の式により算出されます。

$$D = \frac{L^2}{2.77\tau_c} \quad (\text{D:電子拡散係数, L:半導体電極膜厚, } \tau_c\text{:定数}) \quad \cdots (1)$$

上式(1)の定数 “τ_c” は、測定により得られた「電流過渡応答波形」に対して “exp ($-t$ / τ_c)” のフィッティングを行うことで求められる値となります。

2. 電子寿命

SLIM-PCV法による「電子寿命」の測定は、DSCサンプルセルの受光面に対する照射光強度をステップ状に微小変化させ、この時セルから出力される開放電圧(V_{oc})の「過渡応答波形」を測定・解析することで行われます。

この測定法における「電子寿命」とは、以下の式により定義されます。

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{n}{\tau} \quad (\text{n:電子密度, } \tau\text{:電子寿命, t:時間}) \quad \cdots (2)$$

色素増感太陽電池では、照射光強度の微小変化における「過渡電圧」は「電子密度」に比例すると近似できるため、「過渡電圧の変化」は「電子密度の変化」と考えられます。

そこで定義式(2)より、開放状態にある色素増感太陽電池に対し、光強度を微小変化させた際の「電圧過渡応答波形」に対し “exp ($-t$ / τ)” のフィッティングを行うことで電子寿命(τ)を求めることができます。

3. 電子密度

色素増感太陽電池サンプルセルの受光面に対し光を照射しますと、セルから短絡電流(I_{sc})が出力されます。

この短絡電流状態にあるセルに対して、外部から「バイアス電位」を徐々に印加して行きますと、その光強度におけるセル開放電圧(V_{oc})と「バイアス電位」が等しくなった時、短絡電流(I_{sc})は“0”となります。

仮想的に「開放電圧状態」となったセルへの「光照射」と「バイアス電位の印加」を同時に「OFF」しますと、セル半導体電極内部に蓄えられた「電子」が「電流過渡応答」というかたちで出力されます。

この「電流過渡応答」を波形として捉え「時間積分」を行い、「半導体電極体積で除算」することで電子密度(n)が求まります。

参考文献

*1) Nakade,S.;Kanzaki,S.;Wada,Y.;Yanagida,S. *Langmuir 2005, 21, 10803.*

*2) Duffy,N.W.;Peter,L.M.;Rajapakse,R.M.G.;Wijayantha,K.G.U. *Electrochemistry Communications 2000, 2, 658*

8.　PC およびソフトウェア

色素増感太陽電池評価装置　PSL-100　による測定操作は、全て専用のソフトウェアにより行われます。
ここでは、このソフトウェアをインストールしたPCについて説明します。

尚、本装置出荷時には最新のソフトウェアがインストールされておりますが、ご自身で別のPCにソフトウェアをインストールされる場合には『A-1. ソフトウェアのインストールと削除』を参照ください。

計測装置本体とPC間の通信を行うためには、「USBポート」又は「RS-232Cポート」のいずれかを使用しますが、ここでは当社標準と定める「USBポート」使用での設定について説明します。

又、オペレーティングシステム(**以下「OS」と略記**)に関しましては、「Microsoft® WindowsXP」および、「Microsoft® Windows7」での操作について説明します。

その他のOSをご使用の場合、又は「Windows®」自体の操作方法詳細につきましては、各OSの[ヘルプ(H)]機能等を参照願います。

8-1.　通 信 ポート の 設 定

1. 通信ポートの確認

本ソフトウェアがインストールされたPCと計測装置本体(PSL-100-M)の間を「USBケーブル」で接続し、計測装置本体の主電源をONにします。

(1)　Windows7

PC画面内、「デスクトップ」左下にあります[スタートボタン]→[コントロールパネル]を選択し、「コントロールパネル」画面を起動します。

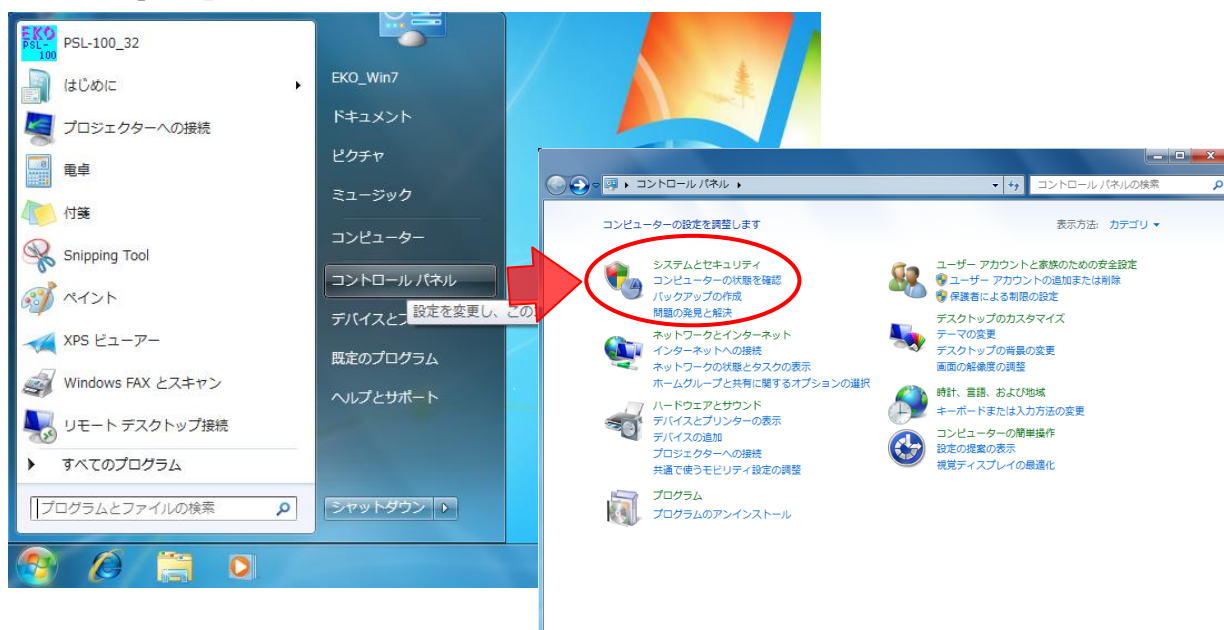



図 8-1-1. コントロールパネル

「システムとセキュリティ」画面へと進みますので、この中から[システム]→[デバイスマネージャー]を選択します。

「デバイスマネージャー」画面内、[ポート(COMとLPT)]項目に[USB Serial Port (COM$)]という表示がありま す。この “$” に該当する番号が計測装置本体との通信ポートとなります。

次図(8-1-2)の例では “COM4” が割り当てられた通信ポートとなります。

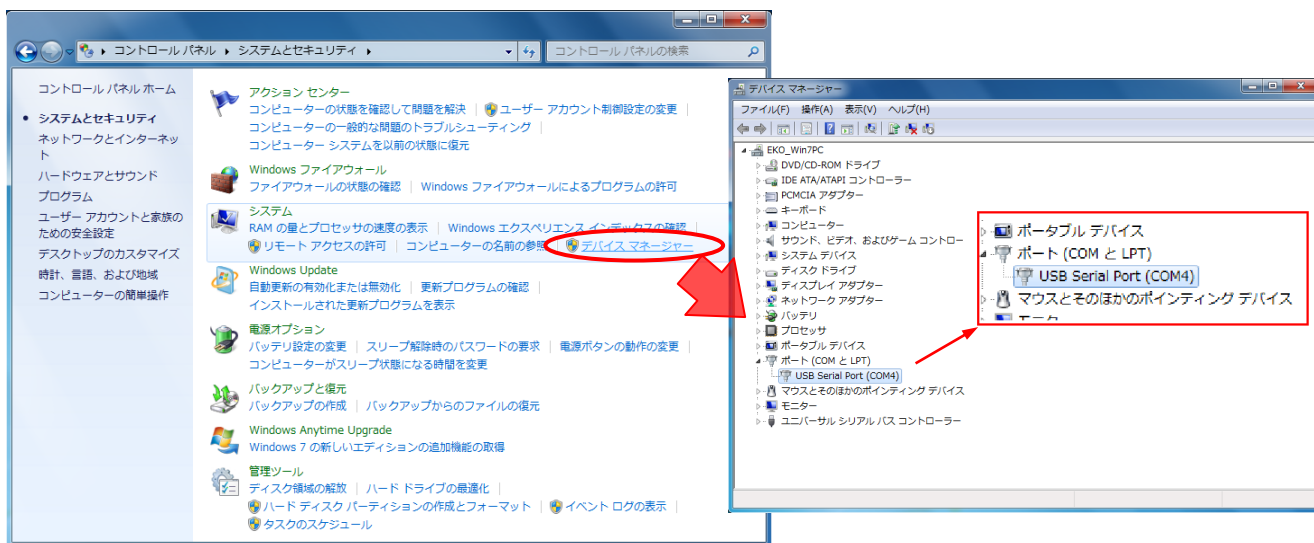



図 8-1-2. デバイスマネージャー

2. ソフトウェア:通信ポートの設定

PC画面内、「デスクトップ」上にあります[PSL-100]アイコン(図8-1-3)をダブルクリックし、PSL-100ソフトウェアを起動させます。

起動の際、次図(図8-1-4)のような「エラー画面」が表示される場合がありますが、この時は[OK]ボタンをクリックし、操作を続けてください。

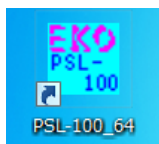



図 8-1-3. PSL-100 アイコン

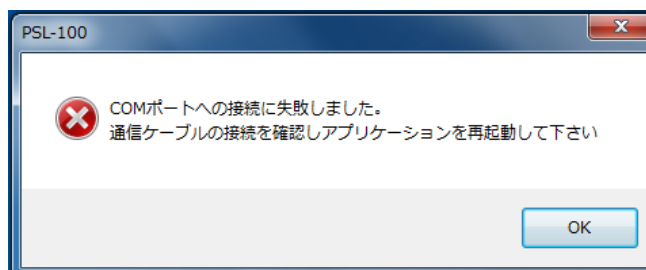



図 8-1-4. COM ポートエラー

PSL-100ソフトウェアが起動し次図(図8-1-7)「メイン画面」へと進みましたら、画面左上の「メニューバー」から[ポート選択(S)]を選択します。

ポート番号のリストが表示されますので、この中から「デバイスマネージャー」で確認したポート番号を選択し、チェックマークを付けます。

設定操作が終了しましたら、画面左上の「メニューバー」から[ファイル(F)]→[終了(X)]を選択し、ソフトウェアを終了させてください。

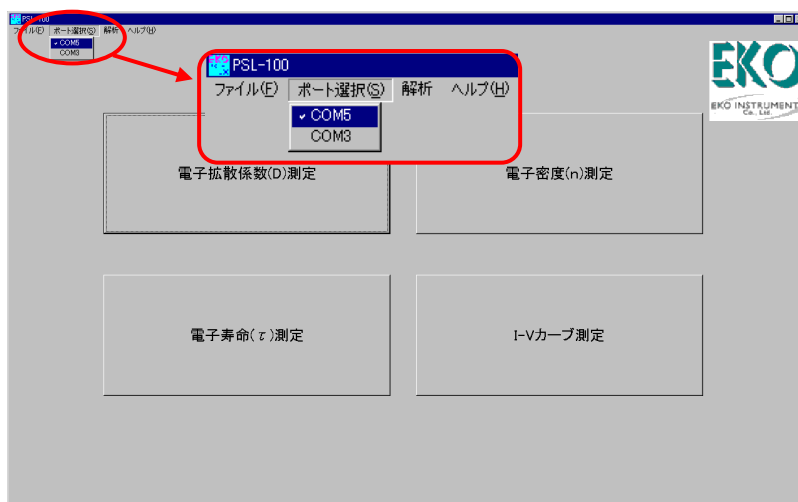



図 8-1-5. メイン画面とポート選択

8-2. ソフトウェア概要

色素増感太陽電池評価装置 PSL-100 による色素増感太陽電池サンプルセルの「測定」および「データ解析」操作は、全て付属のソフトウェアによって行われます。

PSL-100ソフトウェアによる「測定」から「データ解析」までの流れは次のようになります。

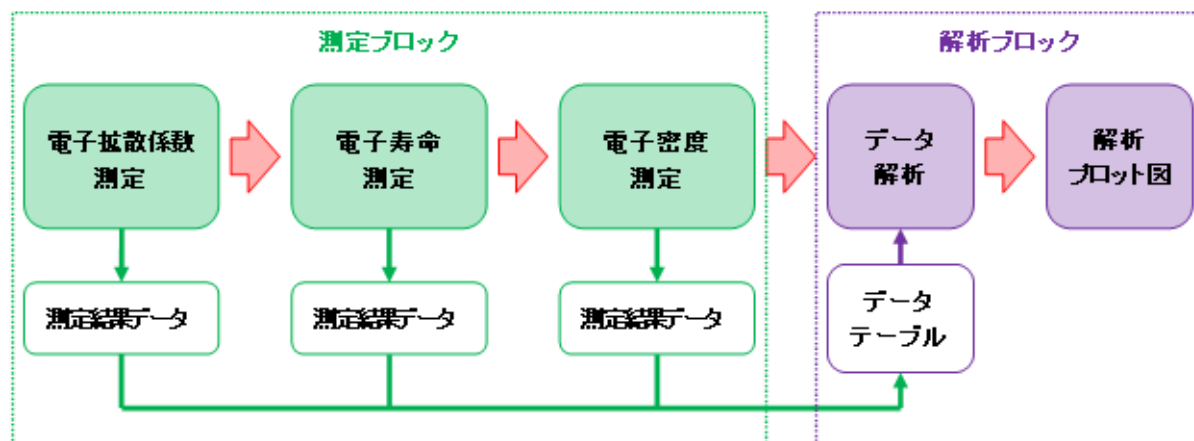



図 8-2-1. 測定からデータ解析までの流れ

1. ソフトウェアによる測定

色素増感太陽電池サンプルセルの「電子拡散係数」および「電子寿命」には光強度依存性があるため、実際には上図(図8-2-1)測定ブロックにある3つの測定を、異なる光強度でそれぞれ数回測定することになります。

例えば、サンプルセル受光面に対して「強めの光強度 “E_1”」を照射し「電子拡散係数測定」を行った場合の「電子拡散係数 “D_1”」と、「やや弱めの光強度 “E_2”($E_1 > E_2$)」を照射して測定した場合の「電子拡散係数 “D_2”」では、“D_1”の方が “D_2” より速くなる傾向を示します。

一方、サンプルセル受光面に対して「強めの光強度 “E_1”」を照射し「電子寿命測定」を行った場合の「電子寿命“τ_1”」と、「やや弱めの光強度 “E_2”($E_1 > E_2$)」を照射して測定した場合の「電子寿命“τ_2”」では、“τ_2”の方が“τ_1”より寿命が長くなる傾向を示します。

SLIM-PCV法では最終的にこのような光強度依存性を「解析プロット図」に描画し、測定に用いたサンプルセルの評価指針としますので、光強度 “$E_1 > E_2 > E_3 > \ldots > E_N$” となるような条件で「電子拡散係数測定」、「電子寿命測定」および「電子密度測定」を行います。

PSL-100ソフトウェアでは最大8点の光強度までプロット図に表示できますが、経験的に光強度のポイントを4点(N=4：$E_1 > E_2 > E_3 > E_4$)程度としますとセルの傾向をつかめるようになりますので、4点以上の測定を推奨します。

尚、本装置での「光強度」は光学ベンチ内の「レーザ光強度」初期値となりますので、この設定値を変えて測定を繰り返します。

PSL-100ソフトウェアでは、次図(図8-2-2)のとおり光強度を変えて測定を行う毎に「測定結果データ」が1つ作成され、電流や電圧の「計測値データ」等とまとめて1つの「測定データファイル(.par形式)」となり保存されます。

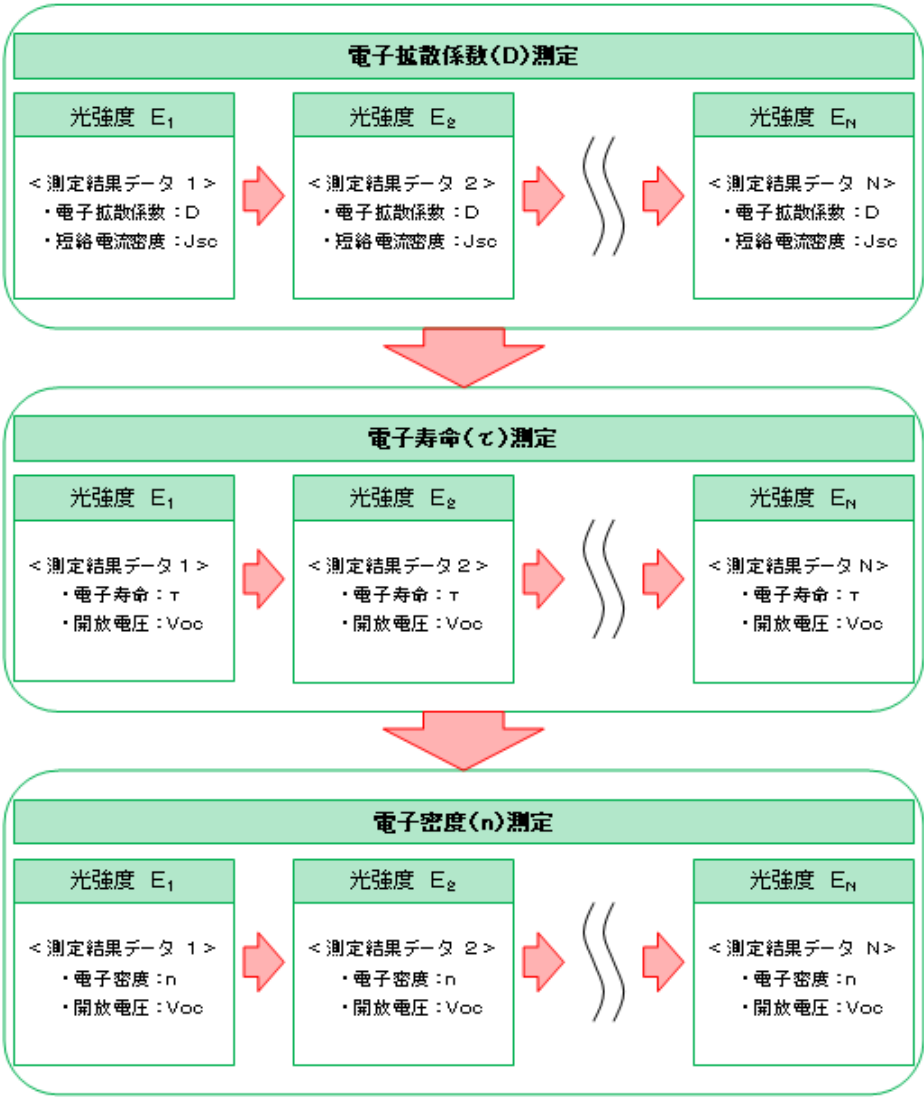



図 8-2-2. 各測定と光強度毎の測定結果データ

このことから1つのサンプルセルを測定しますと、10以上の「測定データファイル」が作成されることになります。

多数にわたるデータファイルを、次図(図8-2-3)のような「ファイル名」ルールに従い1つのフォルダー内に保存することで効率よく整理します。

光強度	電子拡散係数測定	電子寿命測定	電子密度測定
E_1	D1_ファイル名.par	L1_ファイル名.par	Q1_ファイル名.par
E_2	D2_ファイル名.par	L2_ファイル名.par	Q2_ファイル名.par
E_3	D3_ファイル名.par	L3_ファイル名.par	Q3_ファイル名.par
⋮	⋮	⋮	⋮
E_N	DN_ファイル名.par	LN_ファイル名.par	QN_ファイル名.par

図 8-2-3. 測定データファイル名ルール

(1) データファイル名には必ず3文字の「ヘッダ」が付きます。

- 1文字目は「測定項目の識別文字」となり、それぞれの測定項目により、下記のアルファベットが入ります。

  電子拡散係数測定データ:　“D”
  電子寿命測定データ:　“L”
  電子密度測定データ:　“Q”

- 2文字目は「光強度の識別番号」となり、光強度が最も強い場合(E_1)のデータであれば “1” が、次に強い場合(E_2)のデータであれば “2” というかたちで、「光強度の強い順」に数字が入ります。

- 3文字目は“_(アンダーバー)”が入り、後に続く「任意のファイル名」と区切ります。

(2) 3文字の「ヘッダ」の次に「任意のファイル名」を付けます。
「ヘッダ」の“_(アンダーバー)”に続けて「任意のファイル名」を付けます。
「サンプル名」、「測定年月日」など、判別しやすいファイル名とすることをお勧めします。

(3) 拡張子 “.par” が付きます。
PSL-100ソフトウェアにより計測されたデータには拡張子 “.par” が付きます。
“.par” は「カンマ区切りのテキストファイル」形式となります。

2. ソフトウェアによるデータ解析

SLIM-PCV法による色素増感太陽電池サンプルセルの評価は、次に示す4つの「解析プロット図」により行われます。

短絡電流密度 vs. 電子拡散係数
短絡電流密度 vs. 電子寿命
電子密度 vs. 電子寿命
電子密度 vs. 開放電圧

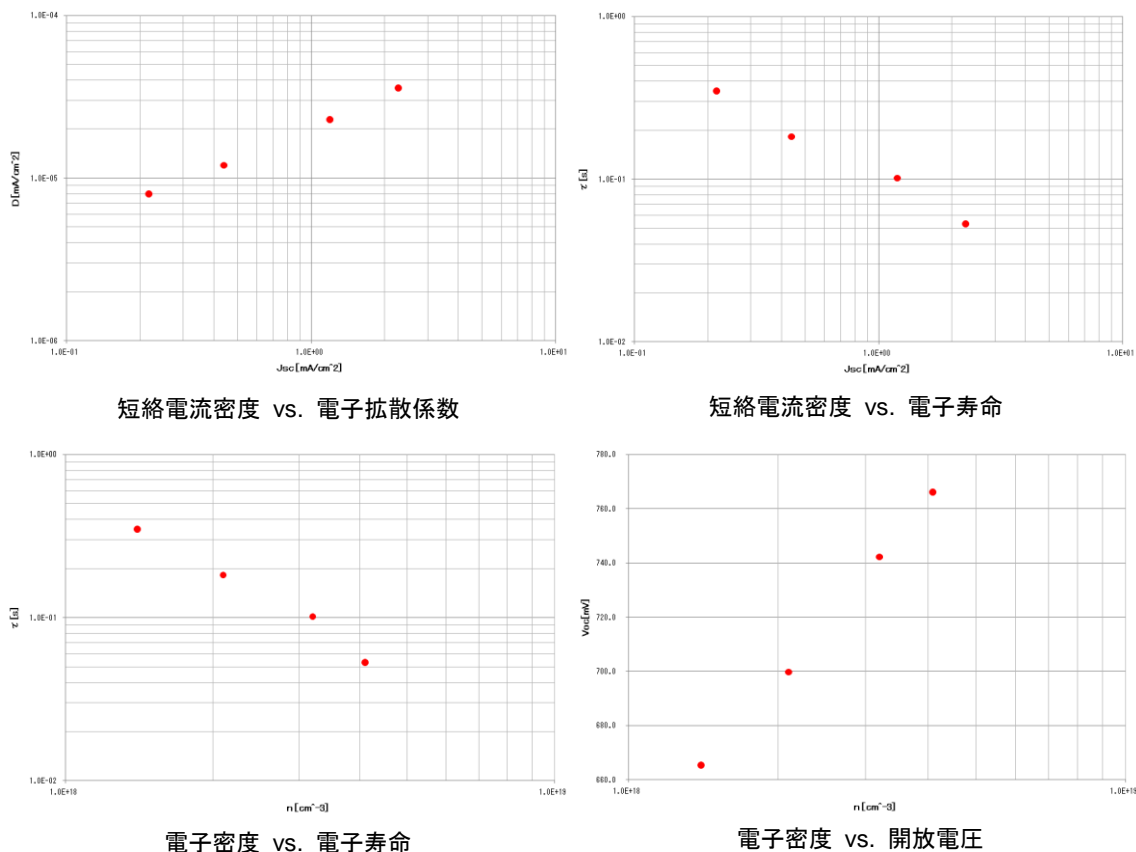



図 8-2-4. 解析プロット図

この「解析プロット図」描画に必要なデータは全て『8-2 ソフトウェア概要、1. ソフトウェアによる測定』により得られています。

①	電子拡散係数	D [cm^2/s]	(→電子拡散係数測定)
②	短絡電流密度	J_{sc} [mA/cm^2]	(→電子拡散係数測定)
③	電子寿命	τ [s]	(→電子寿命測定)
④	開放電圧	V_{oc} [mV]	(→電子寿命測定、電子密度測定)
⑤	電子密度	n [cm^{-3}]	(→電子密度測定)

PSL-100ソフトウェアの「データ解析機能」では、これらが収録された「測定データファイル」を読み込むだけで自動的に「データテーブル」を作成し、簡単に「解析プロット図」を描画できるよう設計されています。

9.　測定とソフトウェア操作

色素増感太陽電池評価装置 PSL-100 による測定操作は、全て付属のソフトウェアによって行われます。
ここでは、「ソフトウェアの操作方法」と「SLIM-PCV法による測定」について説明します。

※　本章以降のソフトウェアに関する説明では、OSが「Microsoft® Windows7」である場合を中心に説明しております。
その他のOSをご使用の場合、又は「Windows®」自体の操作方法詳細につきましては、各OSの「ヘルプ(H)」機能等を参照ください。

9-1. ソフトウェアの基本操作

色素増感太陽電池評価装置PSL-100に付属する専用ソフトウェアは、次に示す2種のソフトウェアによって構成されております。

- **PSL-100 ソフトウェア**
  測定およびデータ解析を行うためのメインソフトウェア。

- **PSL-100 Language Selector ソフトウェア**
  上記PSL-100ソフトウェアの画面に表記される言語を、「日本語」又は「英語」に切り替えるためのソフトウェア。

又、これら2種のソフトウェアは、ご使用頂くPCのOS仕様(「64bit版」又は「32bit版」)によりプログラム名が異なりますが、機能および操作方法は全て同じとなります。

✧　**64bit版　WindowsOSの場合**　→　“**PSL-100_64**”、“**PSL-100 Language Selector_64**”
✧　**32bit版　WindowsOSの場合**　→　“**PSL-100_32**”、“**PSL-100 Language Selector_32**”

1. 画面表記言語の設定

PSL-100ソフトウェアは、画面に表記される言語を「日本語」又は「英語」の何れかに設定可能なバイリンガル機能を有しております。

PSL-100ソフトウェアをPCにインストールしますと、”WindowsOS”のバージョン、言語を問わず画面表記は英語となります。
お使いの”WindowsOS”自身に「日本語用フォント」が予めインストールされている場合、PSL-100ソフトウェアの画面表記を英語から日本語へと変更することができます。

ここでは、この画面表記言語を切り替えるために用いるPSL-100 Language Selector ソフトウェアの操作方法について説明します。

✧ 言語切替ソフトウェア “PSL-100 Language Selector” の起動

PSL-100ソフトウェアがインストールされているPCのデスクトップ画面左下にあります[スタートボタン]→[すべてのプログラム]を選択し、表示されたプログラム一覧の中から[PSL-100]フォルダーをクリックします。

[PSL-100]フォルダー内にあるプログラム一覧の中から[**PSL-100 Language Selector_64**]をクリックし、言語切替ソフトウェアを起動します。
尚、PCの機種により、プログラム名が[**PSL-100 Language Selector_32**]となりますが、機能および設定方法は変わりません。

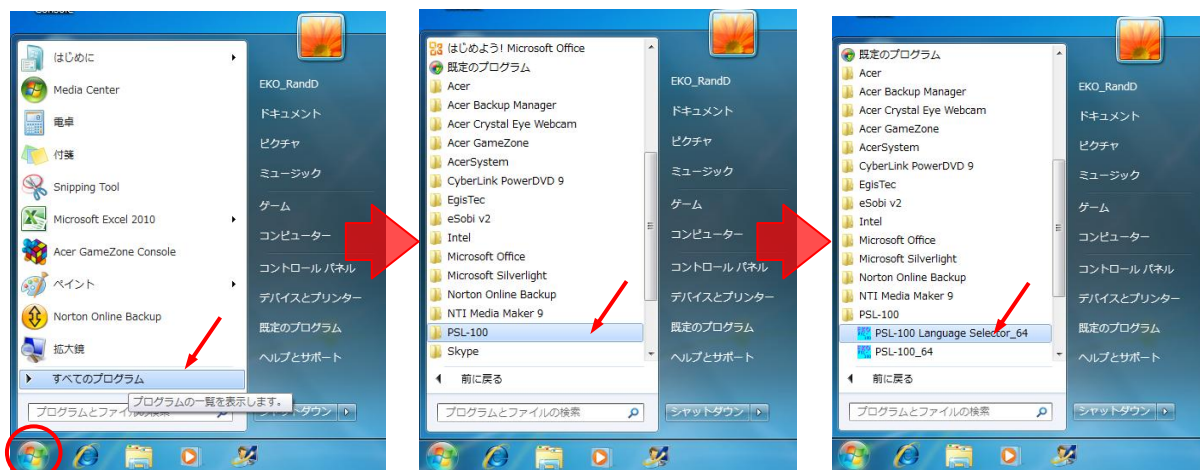



図 9-1-1. “PSL-100 Language Selector” の起動

✧ 言語切替ソフトウェア “PSL-100 Language Selector” の画面と設定方法

言語切替ソフトウェアが起動しますと、次図(図9-1-2)の設定画面が表示されます。

図 9-1-2. “PSL-100 Language Selector” 設定画面

PSL-100ソフトウェアの画面表記を「英語」設定に変更する場合は、[English]側のラジオボタンへマークを移動させます。
同様に、画面表記を「日本語」設定に変更する場合は、[Japanese]側のラジオボタンへマークを移動させます。

どちらの場合も、[OK]ボタンを押下することで言語設定の変更が確定します。
[Cancel]ボタンを押下しますと、直前の言語設定を保持したまま言語切替ソフトウェアが終了します。

言語設定の変更が確定しますと次図(図9-1-3)の「確認画面」が表示されますので、[OK]ボタンを押下し言語切替ソフトウェアを終了してください。

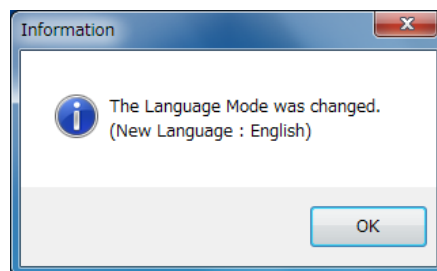



図 9-1-3. 言語設定変更の確認画面

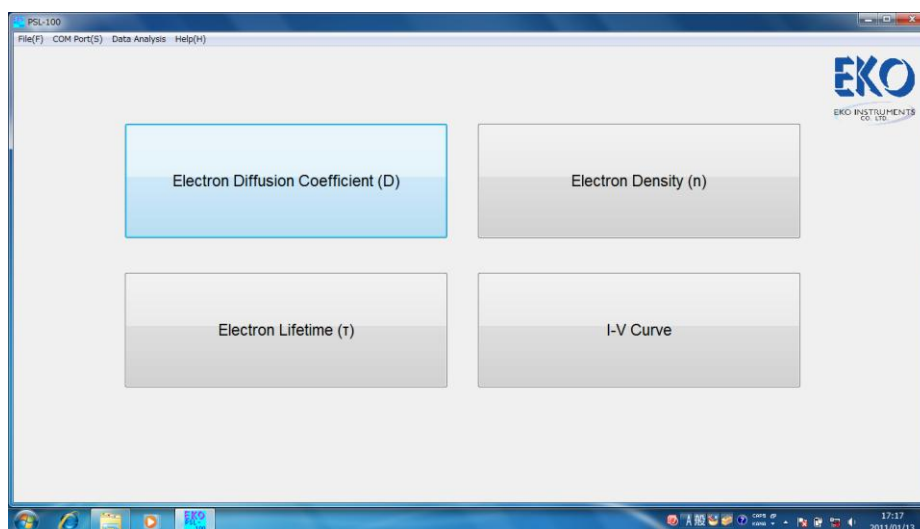
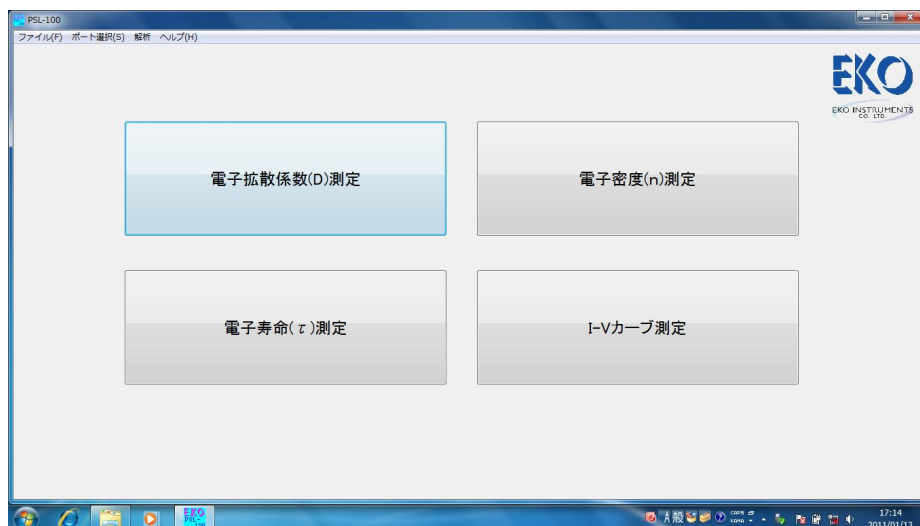
設定変更を行った直後のPSL-100ソフトウェア起動時から、画面の表記言語が切り替わります。(図9-1-4)

＜英語表記＞

＜日本語表記＞

図 9-1-4. 表記言語の切り替わり例

2. PSL-100 ソフトウェアの起動

PSL-100ソフトウェアがインストールされているPCと計測装置本体(PSL-100-M)間が「USBケーブル」で接続されていることを確認し、計測装置本体の主電源をONにします。

PCのデスクトップ上[**PSL-100_64**]アイコン(図9-1-5)をダブルクリックすることにより、PSL-100ソフトウェアが起動します。

又、PCのデスクトップ画面左下にあります[スタートボタン]→[すべてのプログラム]→[PSL-100]と指定し、一覧の中から[PSL-100_64](図9-1-6)をクリックすることでも、PSL-100ソフトウェアが起動します。

尚、PCの機種により、プログラム名が[**PSL-100_32**]となりますが、機能および操作方法は変わりません。

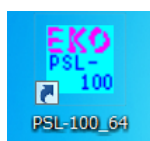



図 9-1-5. “PSL-100”アイコン

図 9-1-6. スタートボタンからの起動

PSL-100プログラム起動の際、下図(図9-1-7)のような「エラー画面」が現れた場合には、PCと計測装置本体間の「通信ケーブル」接続に異常があるか、又は「COMポート」設定に誤りがありますので再確認してください。

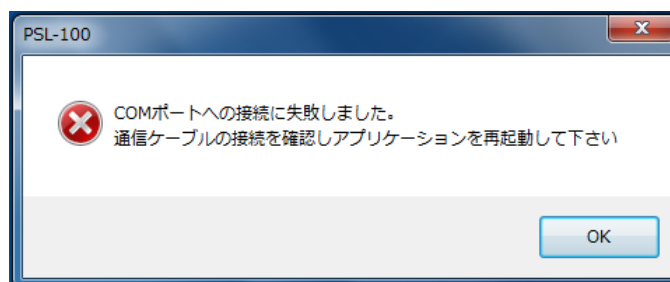



図 9-1-7. 通信ポートエラー画面

3. PSL-100ソフトウェア「メイン画面」

PSL-100ソフトウェアが正常に起動しますと、次図(図9-1-8)のように「PSL-100　メイン画面」へと進みます。

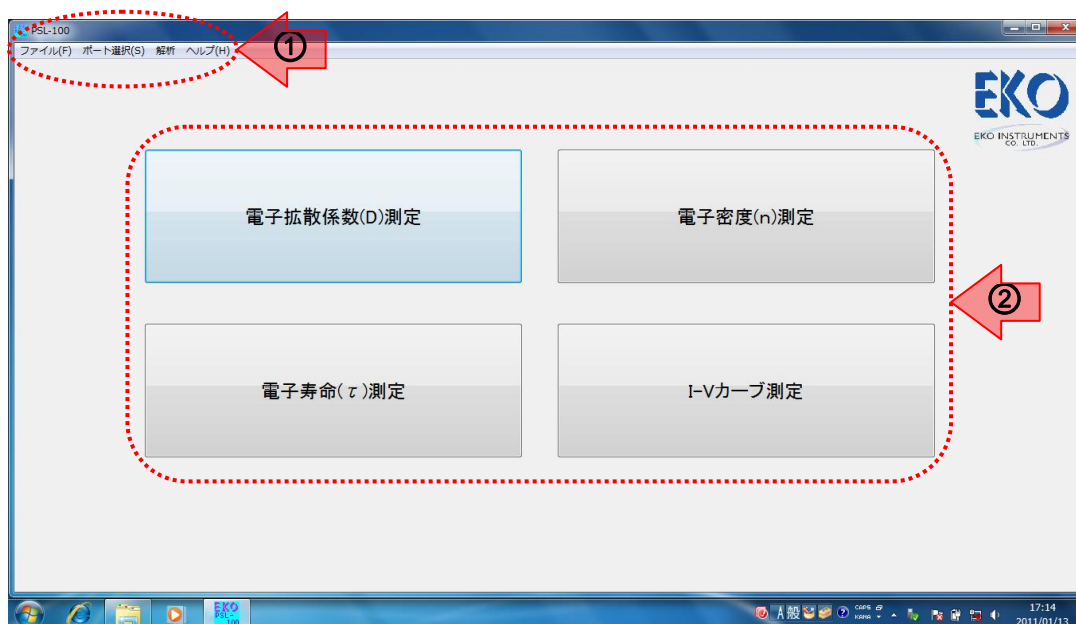



図 9-1-8. PSL-100 ソフトウェアメイン画面

PSL-100ソフトウェアでは、この「メイン画面」から「測定項目の選択」、「解析画面の呼び出し」などの基本操作を行います。

① メニューバー

「メイン画面」には4つのメニュー項目があります。

それぞれの項目をクリックすることでメニュー内容を表示し、操作・選択を行います。

ファイル(F):　ファイル操作を実行するための項目です。
メニュー内容は[終了(X)]となります。
[ファイル(F)]→[終了(X)]と選択することで、PSL-100ソフトウェアが終了します。

ポート選択(S):　PCと計測装置本体間の通信ポートを設定するための項目です。
メニュー内容として、使用しているPCの通信可能ポート番号を一覧で表示します。
計測装置本体との通信ポート番号をクリックし、「チェックマーク」を入れることでポートを設定します。
関連 ☞:「8-1. 通信ポートの設定」

解析:　データ解析操作を実行するための項目です。
メニュー内容は[サンプル毎の解析]となります。
[解析]→[サンプル毎の解析]と選択することで、PSL-100ソフトウェアの「データ解析画面」が起動します。
関連 ☞:「10. データ解析とソフトウェア操作」

ヘルプ(H):　ヘルプ操作を実行するための項目です。
メニュー内容は[バージョン情報(A)]となります。
[ヘルプ(H)]→[バージョン情報(A)]を選択することで、次図(図9-1-9)のような「バージョン情報画面」が現れます。

図 9-1-9. バージョン情報画面

② 測定項目選択ボタン

「メイン画面」には4つの測定項目選択ボタンがあります。

それぞれの選択ボタンをクリックすることで、各測定モードへと進みます。

電子拡散係数(*D*)測定: 「電子拡散係数」の測定モードへ進みます。
関連 ☞:「9-4. 電子拡散係数(*D*)測定」

電子寿命(*τ*)測定: 「電子寿命」の測定モードへ進みます。
関連 ☞:「9-5. 電子寿命(*τ*)測定」

電子密度(*n*)測定 「電子密度」の測定モードへ進みます。
関連 ☞:「9-6. 電子密度(*n*)測定」

I-Vカーブ測定 「I-Vカーブ」の測定モードへ進みます。
関連 ☞:「9-7. I-Vカーブ測定」

4. PSL-100ソフトウェアの終了

PSL-100ソフトウェアを終了する際には、「メイン画面」のメニューバーから[ファイル(F)]→[終了(X)]と選択します。
又、「メイン画面」右上の[閉じる]ボタンをクリックすることでも、PSL-100ソフトウェアを終了することができます。

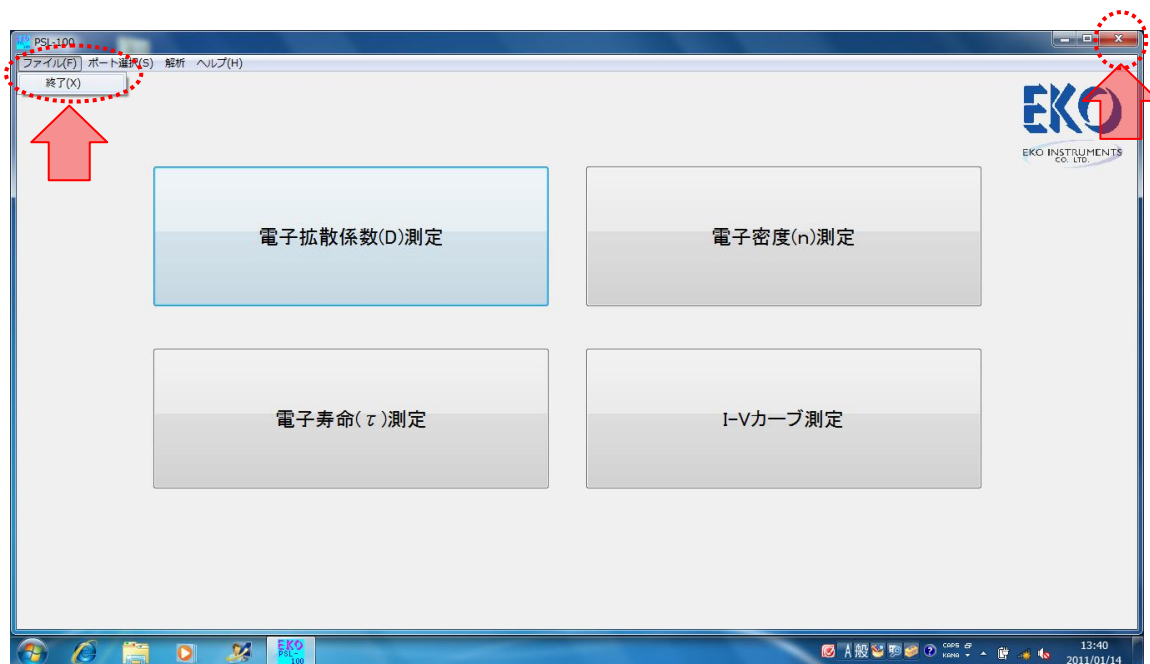



図 9-1-10. PSL-100 ソフトウェアの終了

9-2. 測定データフォルダーの作成

先述のとおり、色素増感太陽電池の「電子拡散係数」および「電子寿命」には光強度依存性があります。

PSL-100ソフトウェアでは、まず「電子拡散係数」、「電子寿命」、「電子密度」の各測定を行い、光強度依存性を示すこれらの測定データから「解析プロット図」を作成します。

この「解析プロット図」を作成するためには、1つのサンプルセルに対しそれぞれの測定を「異なる光強度」で数回繰り返し行い、データを揃える必要があります。
従いまして、1つのサンプルセルを測定するたびに10～20のデータを取り扱うこととなります。

この多数のデータを効率よく整理するため、測定をはじめる前に「測定データフォルダー」を作成しておき、サンプルセル毎にデータファイルをまとめておきます。

尚、PSL-100ソフトウェアでは、この「測定データフォルダー」へ保存する各データファイルに対し「3文字のヘッダ」を付けることで、自動的に「解析プロット図」を作成する機能が付いています。

関連 ☞:「8-2. ソフトウェア概要」

関連 ☞:「10. データ解析とソフトウェア操作」

✧ **測定データフォルダーの作成例**

a. 任意の場所に「新しいフォルダー」を作成します。
デスクトップに「新しいフォルダー」を作成する場合には、画面上で「右クリック」し[新規作成(X)]→[フォルダー(F)]と選択します。

b. 作成した「新しいフォルダー」のフォルダー名部分に任意の名前をつけます。
このフォルダー名はサンプルセルの「識別番号」や「材料名」、又「測定日時」など、後になっても判りやすい名前とすることをおすすめします。

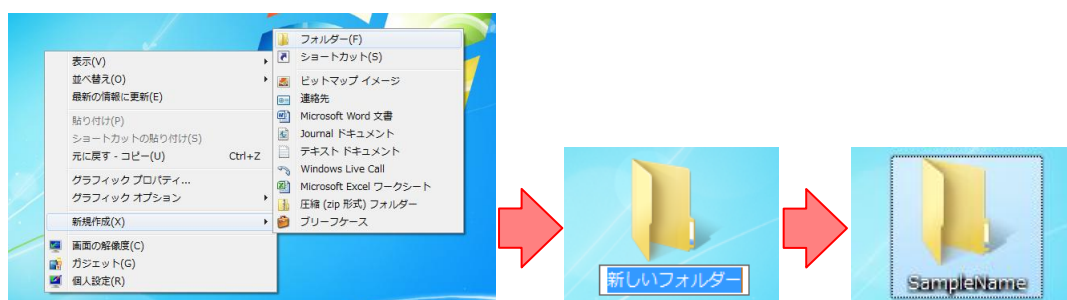



図 9-2-1. 測定データフォルダーの作成例

9-3. 測定用サンプルセルのセッティング

先述のとおり、SLIM-PCV法では測定に用いる色素増感太陽電池サンプルセルの受光面に対し、半導体レーザを用いて「光照射」を行います。

ここでは、レーザの操作手順について説明を行った後、光学ベンチ内の各部品を用いてサンプルセル受光面に対し光照射を行うための光学セッティングについて説明します。

1. レーザの操作手順

基本操作

<u>操作手順 1</u>

各装置間および、レーザの接続が正しいことを確認のうえ、計測装置本体(PSL-100-M)レーザ操作管理機(PSL-100-L)の順で主電源を“ON”にします。

PSL-100-Lフロントパネル STATUSブロックの“MAINUNIT POWER ON” LEDが点灯します。(図9-3-1)
この段階ではLASERブロックのLEDは “OFF”が点灯していますので、レーザの発光が不可な状態となります。

図 9-3-1.

<u>操作手順 2</u>

ユーザーキーを挿入(図9-3-2)し、”ON” 位置へ回転させますと、STATUSブロックの“USER KEY ON” LEDが点灯し、LASERブロックのLEDが
“OFF”(黄LED)→“READY”(緑LED)
へと移ります。(図9-3-3)

図 9-3-2.

LASERブロックのLEDが“READY”になりますと、レーザの発光準備完了となりますので、発光が可能な状態となります。

尚、LASERブロックのLEDが“READY”の状態から
PSL-100-M主電源を“OFF”
ユーザーキーを“OFF”
何れかの操作を行いますと、LASERブロックのLEDが“OFF”へと移り、レーザの発光が不可な状態へと戻ります。

図 9-3-3.

<u>操作手順 3</u>

LASERブロックLEDが“READY”の状態で“ON”ボタンを押下しますとボタンが赤色に点灯します。(図9-3-4)

“ON”を押下したタイミングで、選択したレーザ(例では“LASER1”)から微弱な光強度(固定)に減光されたレーザ光が出力されます。

尚、この“ON”ボタンが点灯している状態で再度“ON”ボタンを押下しますとが消灯し、レーザ光の出力を止めます。(LASERブロックLEDも“READY”へと戻ります。)

図 9-3-4.

又、LASERブロック“ON”ボタンが点灯の状態から

PSL-100－M主電源を“OFF”

ユーザーキーを“OFF”

何れかの操作を行いますとLASERブロックのLEDが“OFF”へと移り、レーザの発光が不可な状態へと戻ります。

操作手順 4

LASERブロックの“ON”ボタンが点灯している状態で光学ベンチ(PSL-100-O)の扉を閉じますと、STATUSブロックの“DOOR CLOSED”LEDが点灯し、SLIM-PCV法による測定実行モードとなります。

測定実行モードの間はSTATUSブロックの“MEASUREMENTMODE”LEDが点灯し、選択されたレーザからの光出力も「減光された固定の光強度」から「ソフトウェアで設定した光強度」へと替わります。

図 9-3-5.

尚、“MEASUREMENT MODE”の状態でPSL-100-Oの扉を開けますとレーザからの出力は「減光された固定の光強度」の発光へと戻ります。
同モードからLASERブロックの“ON”ボタンを押下しますとLEDは“READY”へと戻り、レーザ光の出力を止めます。

又、“MEASUREMENT MODE”の状態から

PSL-100-M主電源を“OFF”

ユーザーキーを“OFF”

何れかの操作を行いますとLASERブロックLEDが“OFF”へと移り、レーザの発光が不可な状態へと戻ります。

※　尚、LASERブロックの“ON”ボタンが点灯している状態で停電など装置供給電源が喪失したような場合、電源復帰時は“READY”状態へと戻ります。

応用操作

応用操作 1

LASERブロックの“ON”ボタンが点灯している状態で光学ベンチ(PSL-100-O)の扉が開いている場合には、レーザからは「減光された固定の光強度」の光を出力しますが、この減光発光時の光強度を“ADJUST”で微調整することができます。

レーザが減光発光している状態で“ADJUST”をマイナスドライバで回転させますと、光強度を微増(時計回り)/微減(反時計回り)できます。(図9-3-6)

図 9-3-6.

応用操作 2

LASERブロックの“ON”ボタンが点灯している状態で光学ベンチ(PSL-100-O)の扉が開いている場合には、レーザからは「減光された固定の光強度」の光を出力しますが、減光発光機能を解除し、ソフトウェアから任意の光強度設定を与えレーザを操作することができます。

但し、本操作は強い光強度を設定することも可能であることから危険を伴います。
本操作を行う際は必ず、付属のレーザゴーグルを着用ください。

レーザが減光発光している状態で“RELEASE”ボタンを押下しますと、ボタンが燈色に点滅します。(図9-3-7)
尚、“RELEASE”ボタンは誤操作防止のため、ボタンカバーが取り付けてあります。
カバーを上方向に上げ操作してください。

図 9-3-7.

本ボタンが点灯している間は減光発光機能が解除され、ソフトウェアの光強度設定値に応じた光がレーザから出力されます。

又、本ボタンが点灯中に再度ボタンを押下しますと解除を停止し減光発光出力へと戻ります。

オプションレーザ追加時の操作

オプションレーザが追加されている場合には、レーザ切替機能が有効となります。
LED下部にありますセレクタスイッチで任意のレーザを選択できます。

尚、安全面を考慮し、LASERブロックの“ON”ボタンが点灯している状態からレーザを切り替えた場合、一旦“READY”状態へ戻るよう設計されております。

図 9-3-8.

2. サンプルセルへの光照射セッティング

測定を行うための光学部品最小構成は、「**レーザ**」、「**平凸レンズ**」および「**サンプルセル**」となります。

経験的にサンプルセル受光面積が4mm角(0.16 cm^2)～5mm角(0.25 cm^2)程度、且つ半導体電極膜厚が5 μm～10 μm程度であれば、このセッティングで測定できることが判っています。

特別な場合を除いては「平凹レンズ」、「ハーフミラー」を取り外し、レーザからセルに対して照射される光強度の低下を防ぐことをお勧めします。

構成部品の位置決め

最小構成光学部品のうち、「レーザ」と「サンプルセル」の位置を光学ベンチレール上任意の場所に決め、『6-2. 構成機器間の接続』の要領で、サンプルセル電極部に「セル接続ケーブル」を接続します。

『9-3. 測定用サンプルセルのセッティング、1. レーザの操作手順』に従い、レーザから微弱な光強度(固定)に減光されたレーザ光を出力させます。

出力されたレーザ光が、セル受光面のほぼ中心に照射されるよう「XYZステージ」で調整します。(図10-3-9)

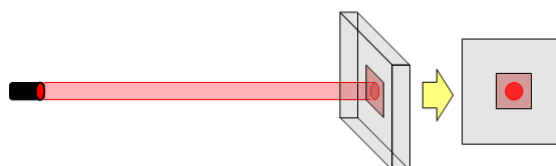



図 9-3-9. レーザ光照射の調整①

ここで、「レーザ」と「サンプルセル」間で任意の場所に「平凸レンズ」をセットします。
※　この時、レンズにレーザ光が反射する場合がありますので、十分にご注意ください。

次にセル受光面全体に照度ムラなく光が照射されるよう、「平凸レンズ」位置および「XYZステージ」を微調整します。(図9-3-10)

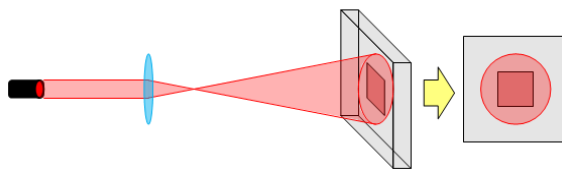



図 9-3-10. レーザ光照射の調整②

関連 ☞:「6-1. 各部の名称とはたらき、2. 光学ベンチ(PSL-100-O)、(3)光学部品セッティング」

関連 ☞:「6-2. 構成機器間の接続」

正確なレンズ位置調整

SLIM-PCV 法による色素増感太陽電池の測定・評価では、**サンプルセル受光面へ均一に光を照射する**ことが重要となります。

この条件を正しく調整する方法として、「電子拡散係数測定」ののデータを基に導き出す方法があります。

上記調整を行うためには、まず「電子拡散係数」の測定方法を理解する必要がありますので、次節『10-4. 電子拡散係数(D)測定』の説明の後、『14-1. サンプルセル受光面への光照射』に記します。

⚠警告:　レーザ光により失明する恐れがありますので、必ず上記事項をお守りください。

9-4. 電子拡散係数(D)測定

SLIM-PCV法による電子拡散係数の測定は以下の手順により行われます。

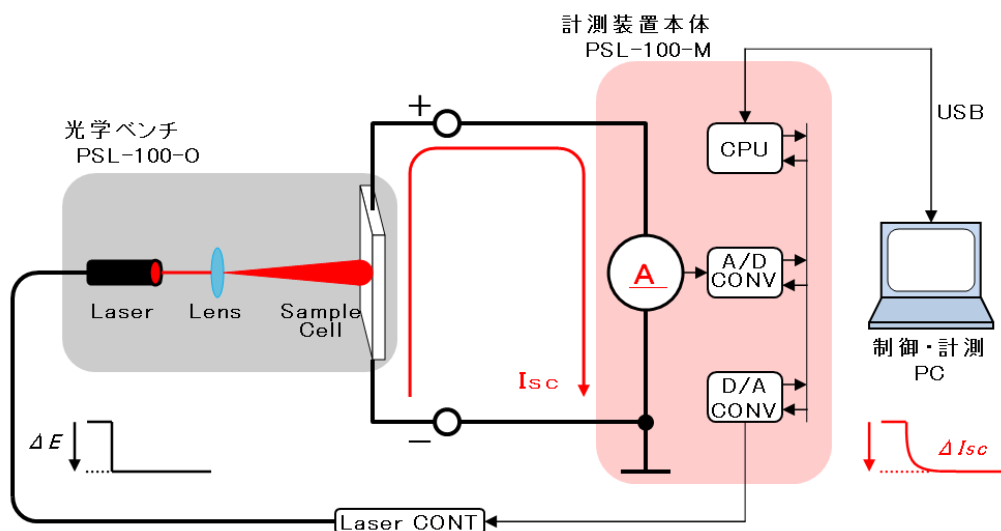



図 9-4-1. 電子拡散係数測定　測定概要

1. 光学ベンチ(PSL-100-O)内にセットされた色素増感太陽電池のサンプルセル受光面に対し、光源であるレーザから光を照射します。
2. サンプルセル半導体電極内部の光励起が十分に安定したところで、照射中のレーザ光強度を微小変化させます。
3. 計測装置本体(PSL-100-M)は、この一連の操作が行われている間、セル短絡電流(I_{sc})をモニターし続け、レーザ光強度を微小変化させた瞬間に起こる電流「過渡応答反応」を計測します。
4. 計測されたデータは計測PCへと送られ、PSL-100ソフトウェア画面上に「電流過渡応答波形」を表示します。

この測定シーケンスは下図(図9-4-2)のようになり、図中、上段が光源であるレーザからの「光強度微小変化」を、下段がサンプルセル短絡電流の「過渡応答」をそれぞれ表しております。

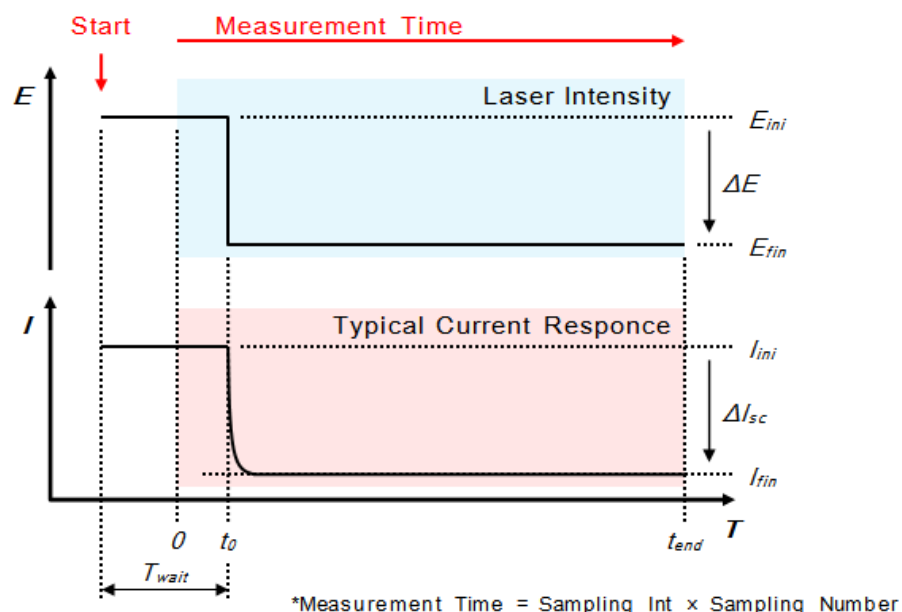
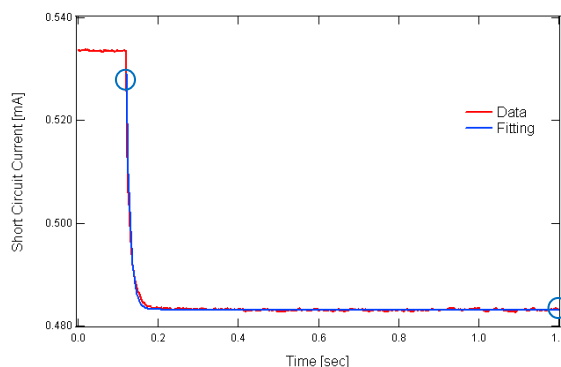



図 9-4-2. 電子拡散係数測定　測定シーケンス

SLIM-PCV法では、測定によって得られた「電流過渡応答波形」に対して "exp ($-t$ / τ_c)" のフィッティングを行うことからフィッティング係数 "τ_c" を求めます。

図 9-4-3. exp ($-t$ / τ_c) によるフィッティング

この係数 "τ_c" と半導体電極膜厚 "L" を次式に代入することで電子拡散係数 "D" を算出します。

$$D = L^2 / 2.77\tau_c \qquad \cdots(1)$$

色素増感太陽電池における「電子拡散係数」には「光強度依存性」があります。
このことからSLIM-PCV法では1つのサンプルセルに対する上述「電子拡散係数測定」を、レーザ光強度を変化させながら数回行います。

PSL-100ソフトウェアでは、このSLIM-PCV法による「測定」から「算出」までの操作を簡単に行えます。

1. 設定画面

PSL-100ソフトウェアを起動し「メイン画面(図9-1-8)」上の[電子拡散係数(D)測定]ボタンをクリックしますと、次図(図9-4-4)のように「電子拡散係数測定設定画面」へと進みます。

図 9-4-4. 電子拡散係数測定 設定画面

この「設定画面」にあります各項目を入力し、[測定開始]ボタンをクリックしますと「電子拡散係数測定」を実行します。

① メニューバー

「電子拡散係数測定設定画面」には2つのメニュー項目があります。

それぞれの項目をクリックすることでメニュー内容を表示し、操作・選択を行います。

ファイル(F): ファイル操作を実行するための項目です。

メニュー内容は以下となります。

[開く(O)] : 過去に測定したデータファイル(.parファイル)を呼び出します。

[保存(S)] : 画面内に記入されている設定パラメータをデータファイル形式(.par)で保存します。

[戻る(C)]: 「設定画面」を終了し「メイン画面」へ戻ります。

設定(S) 設定操作を実行するための項目です。

本メニューには操作可能な項目はありません。

② パラメータ入力・表示

「電子拡散係数測定 設定画面」には9つのパラメータ入力・表示欄があります。

それぞれの欄をクリックし入力操作を行います。

File Name: データファイル名(.parファイル)の表示欄です。

過去に測定したデータファイルを呼び出した際、そのファイル名を表示します。

Sampling Int (μs): 測定のサンプリング間隔を入力する欄です。

(測定必須パラメータ) 時間間隔ごとに、測定データをサンプリングします。

単位: [μs]、半角数字により入力します。

設定可能範囲: 10 [μs] ～ 9999990 [μs]

設定分解能: 10 [μs]

Sampling Number (回): 測定のサンプリング回数を設定する入力欄です。

(測定必須パラメータ) 回数、測定データをサンプリングします。

単位: [回]、半角数字により入力します。

設定可能範囲: 1 [回] ～ 9999 [回]

設定分解能: 1 [回]

待ち時間設定 (s): サンプルセルの受光面に対しレーザ光を照射した際、光励起が安定するまでの照射時間(待ち時間)を設定する欄です。

(測定必須パラメータ)

単位: [s]、半角数字により値を入力します。

設定可能範囲: 0 [s] ～ 3600 [s]

設定分解能: 1 [s]

Laser Initial (V): 測定時、サンプルセル受光面へ照射するレーザ光の光強度初期値を入力する欄です。

(測定必須パラメータ)

単位: [V]、半角数字により値を入力します。

設定可能範囲: 0.100 [V] ～ 4.000 [V]

設定分解能: 0.001 [V]

Laser Final (V): 測定時、サンプルセル受光面へ照射するレーザ光の微小変化後光強度を入力する欄です。

(測定必須パラメータ)

必ず、“Laser Final ＜ Laser Initial” となるような値を入力します。

単位: [V]、半角数字により値を入力します。

設定可能範囲: 0.100 [V] ～ 4.000 [V]

設定分解能: 0.001 [V]

サンプル膜厚設定 (μm): 測定に用いるサンプルセルの半導体電極膜厚値を入力する欄です。
(測定必須パラメータ) 本欄で入力した値を用いて「電子拡散係数」の算出を行います。

単位: [μm]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲: 0.01 [μm] ～ 99.99 [μm]
設定分解能: 0.01 [μm]

サンプル面積 (cm^2): 測定に用いるサンプルセルの受光面積値を入力する欄です。
(測定必須パラメータ)

単位: [cm^2]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲: 0.0001 [cm^2] ～ 16.0000 [cm^2]
設定分解能: 0.0001 [cm^2]

コメント: 測定に関するメモ書きや、サンプルセルの組成データなど任意のコメントが入力できます。
最大で全角64文字(半角128文字)まで入力可能です。

③ 操作ボタン

「電子拡散係数測定 設定画面」には4つの操作ボタンがあります。
ボタンをクリックして各操作を行います。

測定開始: 上記②の「測定必須パラメータ」入力後、本ボタンをクリックすることで「電子拡散係数」の測定を開始します。
「測定必須パラメータ」に未入力がある場合、本ボタンをクリックしても測定が開始されず、次図(図9-4-5)のような「エラーメッセージ」が現れますので修正を行ってください。

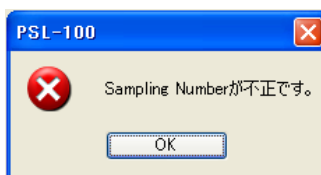



図 9-4-5. 測定開始時エラー例

Laser On: 光学ベンチ内の調整時など測定以外の状況でレーザ光を出力させる場合、本ボタンをクリックします。
本ボタンを押下した場合のレーザ光強度は、上記② [Laser Initial (V)] の入力値が反映されます。

Laser Off: 上記 [Laser On] 操作にて出力させたレーザ光を止める場合に本ボタンをクリックします。

戻る: 「設定画面」を終了し「メイン画面」へと戻る際、本ボタンをクリックします。

2. 測定中画面

「設定画面(図9-4-4)」内の「測定必須パラメータ」を入力した後、[測定開始]ボタンをクリックしますと「電子拡散係数測定」が開始され、次図(図9-4-6)のように「測定中画面」へと進みます。

測定を途中で強制終了させる場合には、「測定中画面」内にあります[中止]ボタンをクリックしますと測定は中止され、「設定画面」へと戻ります。

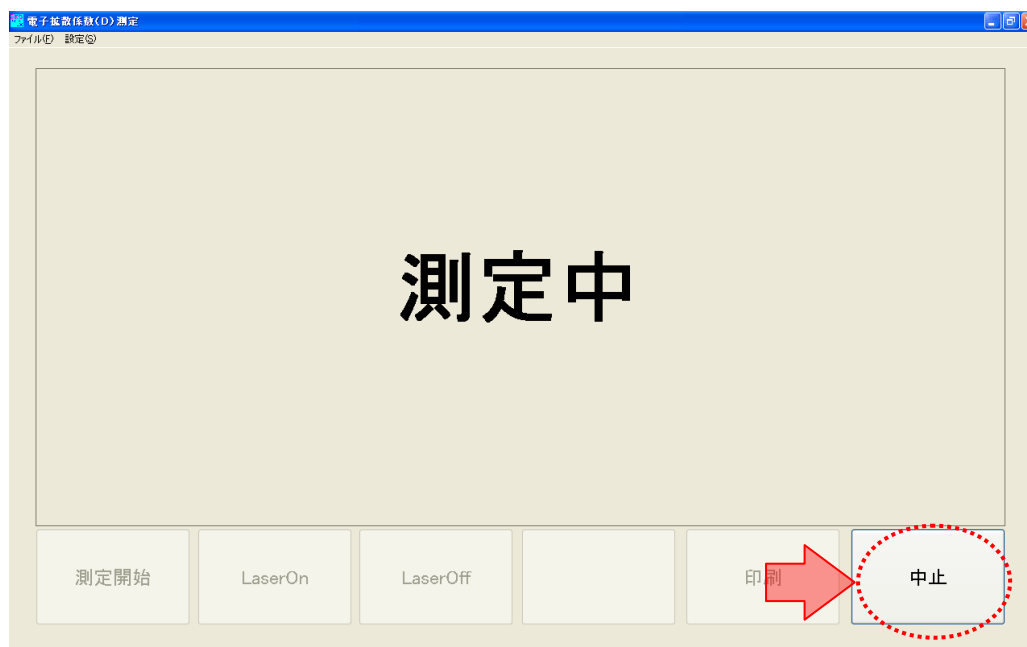



図 9-4-6. 電子拡散係数測定　測定中画面

3. 測定結果画面

測定が終了しますと次図(図9-4-7)のように「測定結果画面」へと進みます。

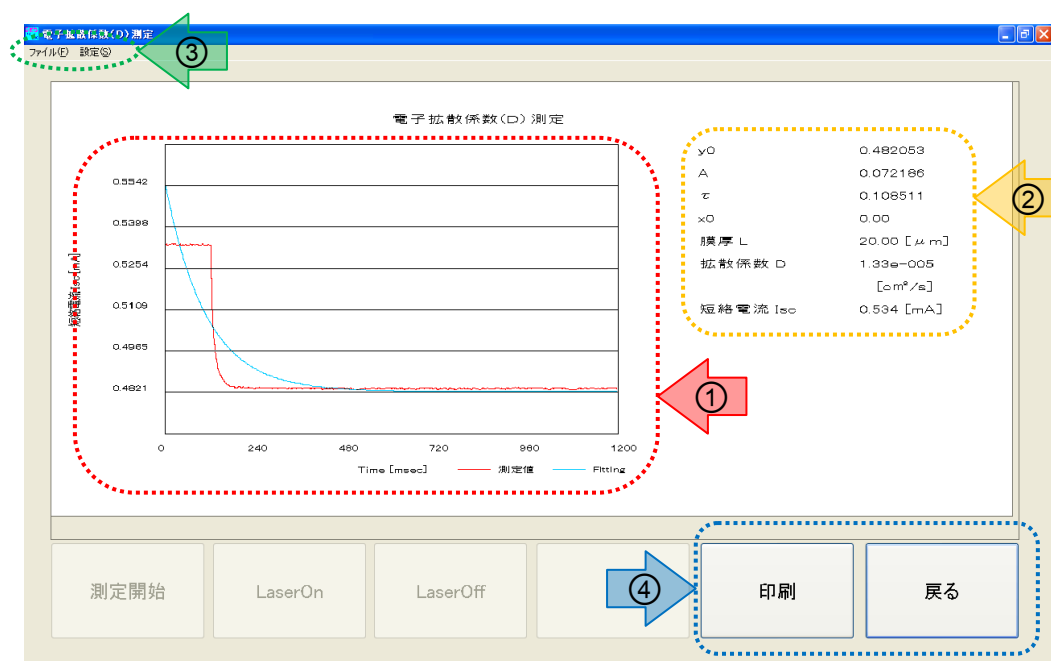



図 9-4-7. 電子拡散係数測定　測定結果画面

① 測定結果－グラフ表示

「電子拡散係数測定」結果を「時間－電流」のグラフとして描画します。

又、測定結果である「電流過渡応答波形(赤線)」に対する「フィッティング曲線(青線)」を重ね描きします。

② 測定結果－数値データ表示

上記①の「測定結果グラフ」から得られる数値データを表示します。

y0、A、τ、x0: 「電流過渡応答波形」に対する「フィッティング曲線」方程式のパラメータ(係数)です。

膜厚L: サンプルセルの半導体電極膜厚値です。
この値は「設定画面」で入力した［サンプル膜厚設定］の値となります。

拡散係数D: 上記「フィッティング曲線」方程式のパラメータおよび、膜厚データにより算出された「電子拡散係数値」です。
この値は、「電流過渡応答波形」に対するフィッティングのポイントを変更しますと、自動的に再計算されます。

短絡電流I_{sc}: レーザ光強度初期値時のサンプルセル短絡電流値を表示します。
この値は「解析プロット図」を作成する際のデータとなります。

③ メニューバー

「電子拡散係数測定　測定結果画面」には2つのメニュー項目があります。

それぞれの項目をクリックすることでメニュー内容を表示し、操作・選択を行います。

ファイル(F): ファイル操作を実行するための項目です。
メニュー内容は以下となります。
［開く(O)］: 過去に測定したデータファイル(.parファイル)を呼び出します。
［保存(S)］: 表示されている測定結果をデータファイル形式(.parファイル)で保存します。
［戻る(C)］ 「測定結果画面」を終了し「設定画面」へ戻ります。

設定(S): 設定操作を実行するための項目です。
メニュー内容は［フィッティング］となり、「電流過渡応答波形」に対する「フィッティング曲線」の開始点と終了点を設定する子画面を呼び出します。

④ 操作ボタン

「電子拡散係数測定　測定結果画面」には2つの操作ボタンがあります。

ボタンをクリックして各操作を行います。

印刷: PCにプリンターが接続されている場合、本ボタンをクリックすることにより「測定結果画面」のグラフ表示部および、数値データ表示部を印刷することができます。

戻る: 「測定結果画面」を終了し「設定画面」へ戻ります。

4. フィッティング

SLIM-PCV法による「電子拡散係数(D)」の導出は、測定により得られたセル短絡電流の「過渡応答波形」に対して“exp ($-t$ / τ_c)” の「フィッティング」を行い、係数 “τ_c” を求める必要があります。

PSL-100ソフトウェアでは「測定結果画面」上からこの「曲線フィッティング」操作を行い、係数 “τ_c” を自動的に求めることができます。

先述、『9-4. 電子拡散係数(D)測定、3. 測定結果画面』のとおり、測定が正常に終了しますと、下図(図9-4-8)のような結果グラフが表示されます。

グラフ内の赤線による表示が測定により得られたセル短絡電流の「過渡応答波形」、青線による表示が応答波形に対する “exp ($-t$ / τ_c)” の「フィッティング曲線」となります。

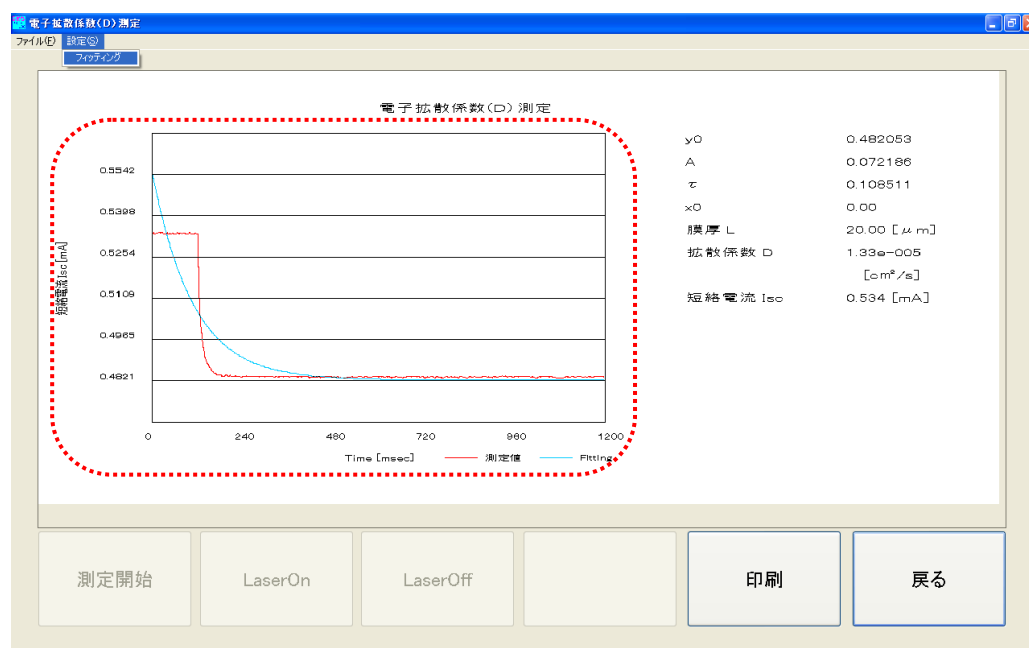



図 9-4-8. 電子拡散係数測定 測定結果グラフ表示

上図(図9-4-8)では、過渡応答波形(赤線)に対するフィッティング(青線)がうまくできていない状態となっています。

このままでは正確な「電子拡散係数(D)」を導出することができませんので、フィッティング(青線)の開始位置を「過渡応答波形(赤線)」垂下直後のポイントへ修正する必要があります。(図9-4-9)

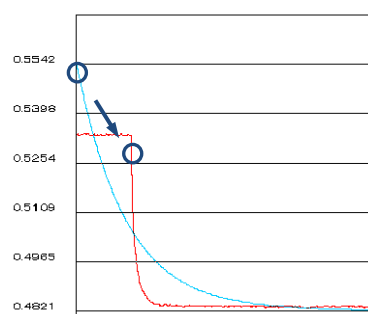



図 9-4-9. フィッティングポイントの修正

このフィッティングポイントの修正を行うため、「測定結果画面」のメニューバー[設定(S)]→[フィッティング]を選択し、「フィッティングの設定」子画面(図9-4-10)を起動させます。

この「フィッティングの設定」子画面内、[開始]および[終了]の設定値を変更することで、「フィッティング曲線」操作を行います。

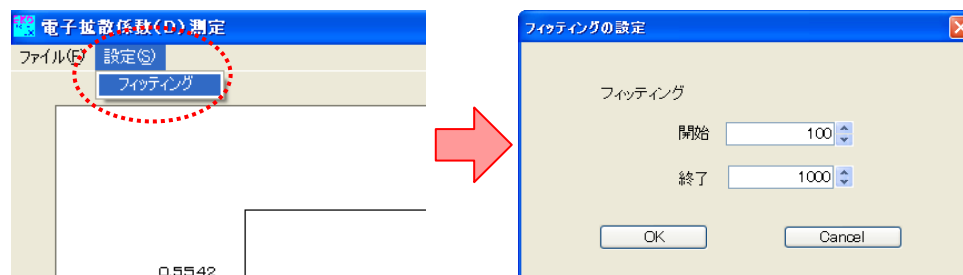
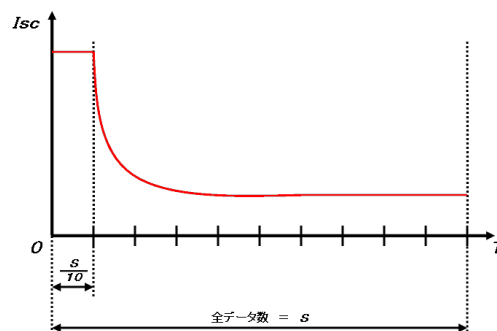



図-4-10. フィッティングの設定

PSL-100ソフトウェアの「電子拡散係数(*D*)測定」結果グラフ表示では、セル短絡電流の「過渡応答波形」垂下ポイントを適切に捉えるため、このポイントが全データ数の10%目となるようデータサンプリングを行っています。(図9-4-11)

図 9-4-11. 過渡応答波形の垂下ポイント

ここで、全データ数とは「設定画面」内の[Sampling Number]設定値を指します。

上記の例では、全データ数を「1000点」としていますので、その10%である「100点」をフィッティング開始の目安とします。

実際には、「過渡応答波形」の垂下が明確となるポイントを開始点としますので、ここから数点加算した101点～103点程度の値を設定することで最適な「フィッティング曲線」が得られます。

尚、フィッティングの終了点は全データ数と同じ値を設定します。

測定結果画面(図9-4-7)の「フィッティング曲線」を[開始：101]、[終了：1000]と設定し、再描画させたグラフを次図(図9-4-12)に示します。

セル短絡電流の「過渡応答波形(赤線)」に対する「フィッティング(青線)」が最適となっています。
又、「測定結果画面内」の数値データ部もフィッティングの修正により更新されていることがわかります。

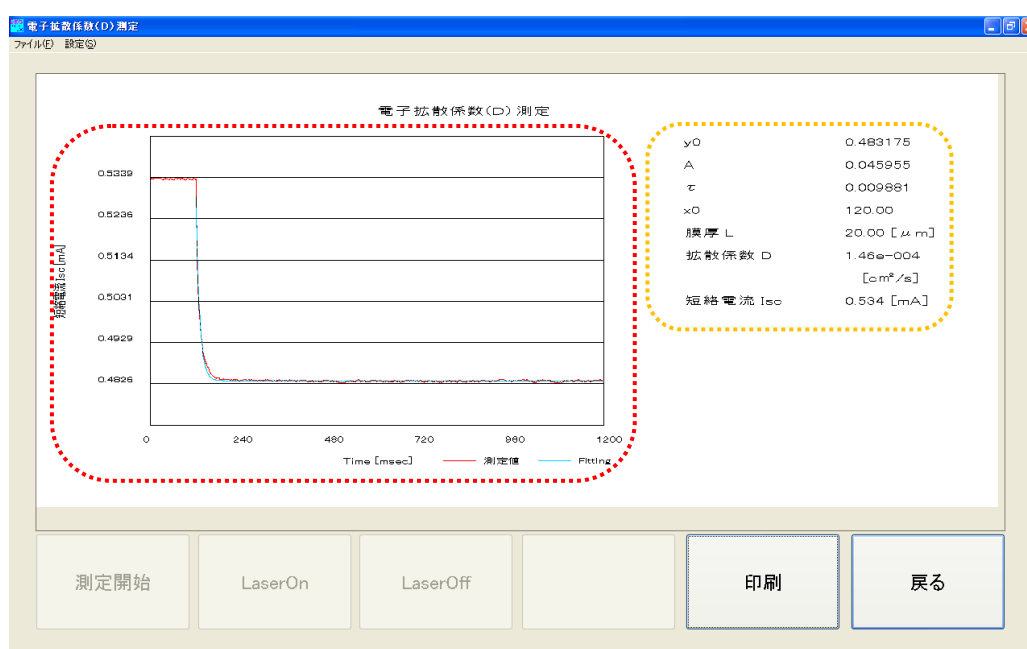



図 9-4-12. 電子拡散係数測定　フィッティング最適化グラフ

5. データ保存

測定結果データを保存するには、「測定結果画面」のメニューバー[ファイル(F)]→[保存(S)]を選択し、「名前を付けて保存」子画面を起動させます。(図9-4-13)

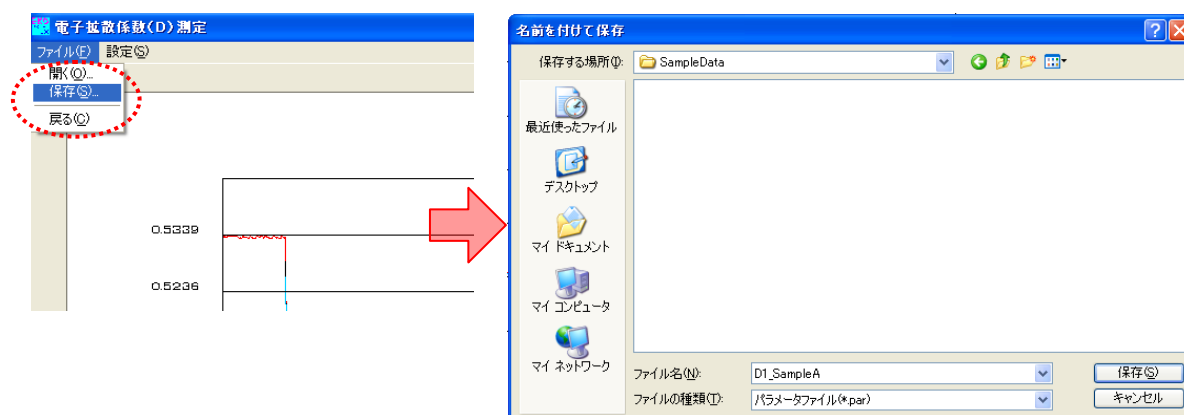



図 9-4-13. データ保存

「名前を付けて保存」子画面内[ファイルの場所(I)]には、『9-2. 測定データフォルダーの作成』で作成したフォルダーを指定します。

SLIM-PCV法では、測定に使用するサンプルセルの「光強度依存」傾向を考察するため、異なるレーザ光強度における「電子拡散係数測定」を4回～8回行います。

これらの測定データを効率よく整理するため、PSL-100ソフトウェアでは次のような「ファイル名」のルールを定めています。

電子拡散係数の測定データファイルは

＜D1_XXX.par＞、＜D2_XXX.par＞、・・・・・

のように必ず“D”から始まる3文字のヘッダを付記します。(図9-4-14)

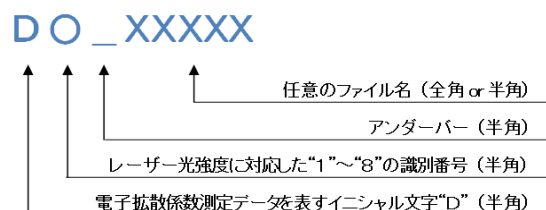



図 9-4-14. 電子拡散係数 データファイル名ルール

1文字目: “D” は電子拡散係数の測定データであることを意味します。

2文字目: レーザ光強度初期値の強弱順に “1” ～ “8” までの数字が入ります。

3文字目: アンダーバーを入れ、この後に任意のファイル名を付けます。

又、測定データファイルの拡張子は“.par”で、これはカンマ区切りのテキストファイル形式となります。

このルールによる「ファイル名」を「名前を付けて保存」子画面内[ファイル名(N)]欄に入力し、[保存(S)]ボタンをクリックします。

6. データ読み込み

PSL-100ソフトウェアでは過去に測定した「測定結果データ」を読み込み、「測定結果画面」を再現することができます。

「電子拡散係数測定　設定画面(図9-4-4)」又は「電子拡散係数測定　測定結果画面(図9-4-7)」画面のメニューバーから[ファイル(F)]→[開く(O)]と選択し、「ファイルを開く」子画面を起動させます。(図9-4-15)

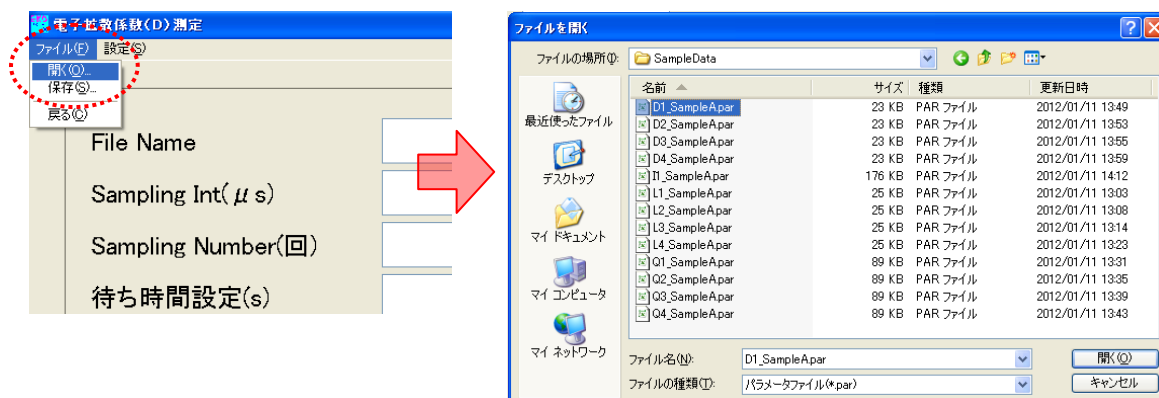



図 9-4-15. データ読み込み

「ファイルを開く」子画面内から、読み込みを行いたい電子拡散係数測定結果データ“D$_xxx.par”ファイルを指定し、[開く(O)]ボタンをクリックします。

ここで、「電子拡散係数測定」以外の測定結果データを指定しますと、次図(図9-4-16)のような「エラー画面」が表示されますので、操作をやり直してください。

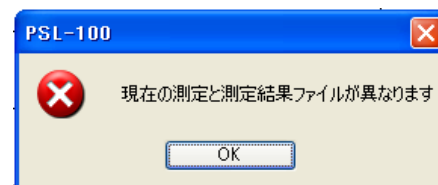



図 9-4-16. ファイル読み込みエラー画面

正しくファイル名を指定しますと、次図(図9-4-17)のように過去に測定した電子拡散係数測定の結果画面が表示されます。(このファイルを保存した時の「フィッティング結果」も再現されます。)

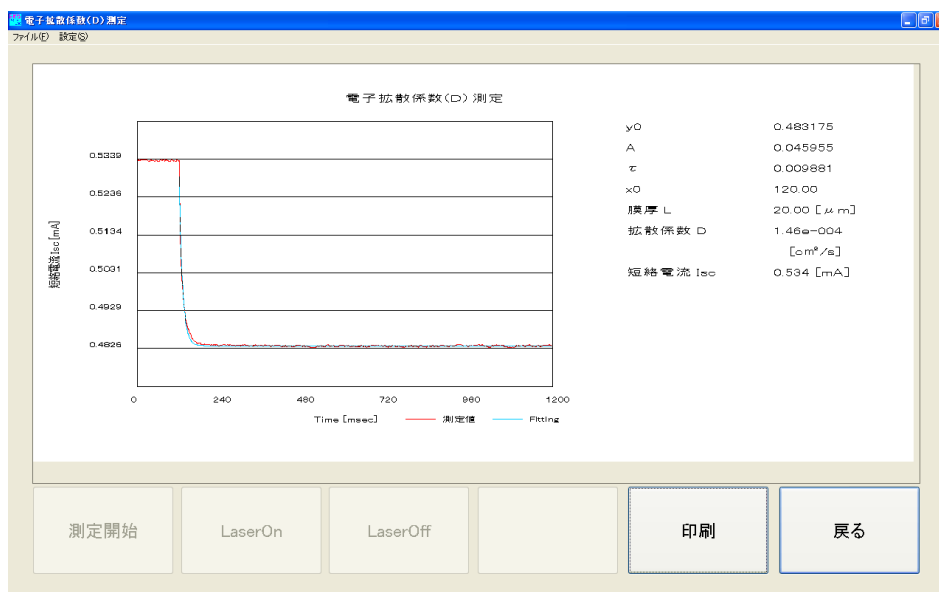



図 9-4-17. 測定結果データの読み込み完了

又、この画面から[戻る]ボタンをクリックしますと、測定条件を確認することができます。

7. 測定に関して

SLIM-PCV法による電子拡散係数の測定では、色素増感太陽電池サンプルセルに対する光照射を微小変化させた際の「電流過渡応答波形」を観測しますが、測定原理上この「電流過渡応答幅：ΔI_{sc}」は初期レーザ光照射時サンプルセル短絡電流値の10%程度となるような設定を行う必要があります。(図9-4-18)

この「電流過渡応答幅：ΔI_{sc}」は、サンプルセルに対するレーザ光強度の「微小変化量：ΔE」と相関しますので、実際の測定では「微小変化量：ΔE」の設定が重要なポイントとなります。

先述のとおり、PSL-100ソフトウェア設定画面［Laser Initial］と［Laser Final］の差が「微小変化量：ΔE」となります。
［Laser Final］照射時サンプルセル短絡電流値(図中"I_{fin}")が、［Laser Initial］照射時サンプルセル短絡電流値(図中"I_{ini}")の90%程度となるよう光強度の設定を行いますと、理想的な「電流過渡応答幅：ΔI_{sc}」を得ることができます。

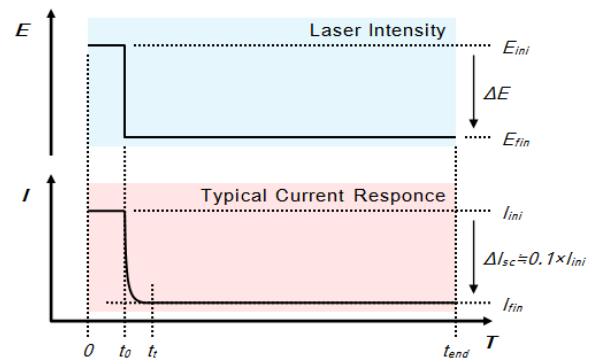



図 9-4-18. 電流過渡応答幅とレーザ微小変化量

又、解析に用いる電子拡散係数の値は、実測定により取得した「電流過渡応答波形」に対して "exp ($-t$ / τ_c)" のフィッティングを行うことから求めますので、過渡応答波形は最適なフィッティング結果が得られる「応答時間」とする必要もあります。

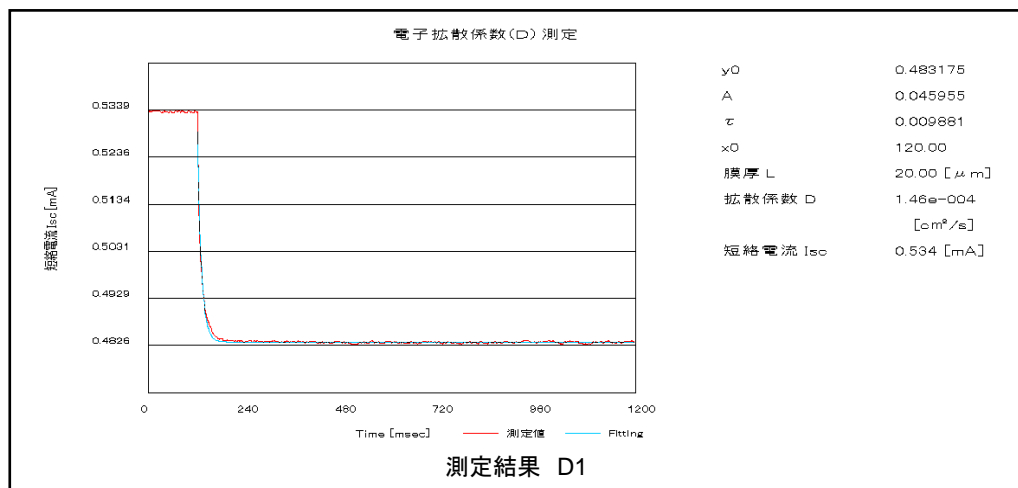
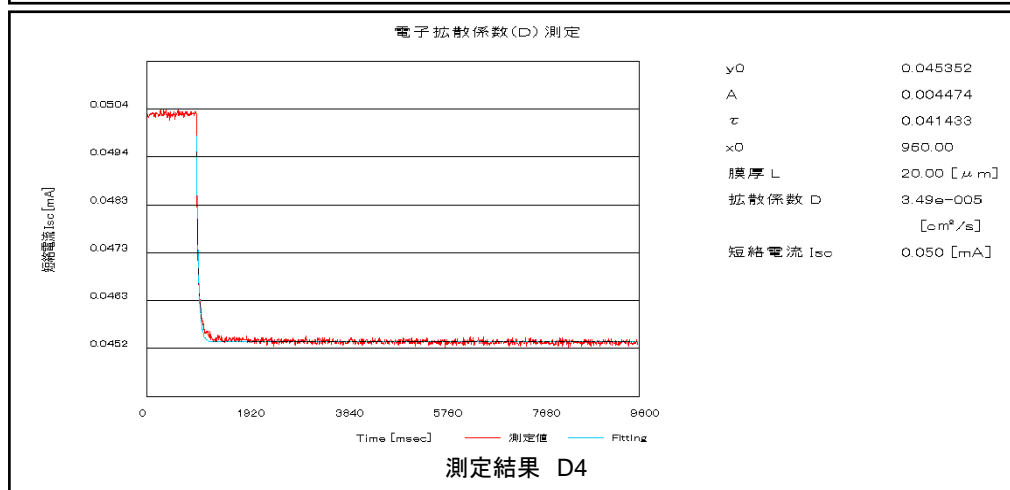
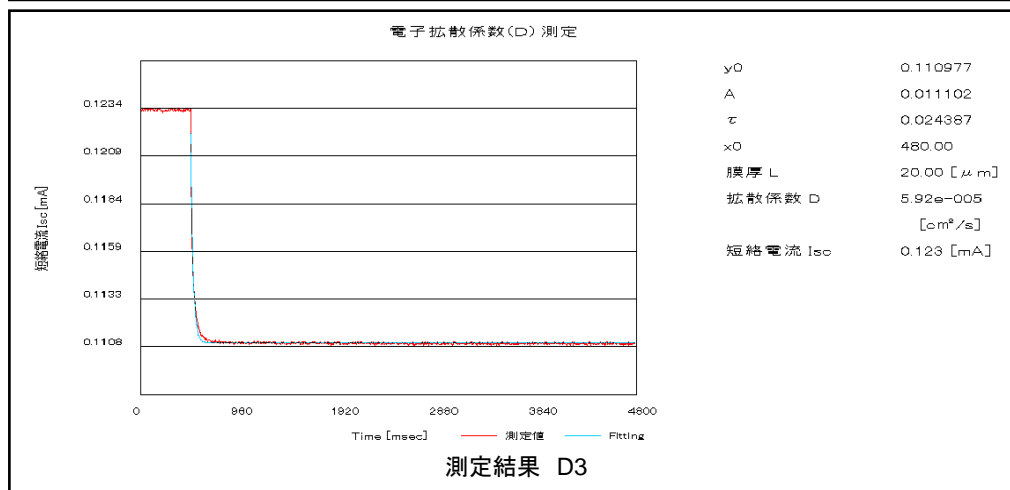
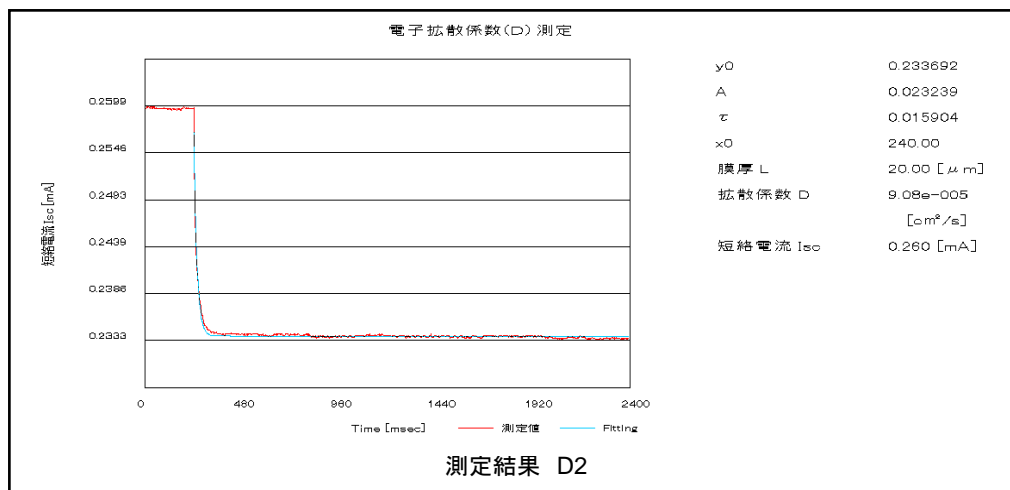
この「応答時間」は光のステップによって過渡の状態にある上図 $|t_t - t_0|$ の時間であり、「定常(収束)状態」となる上図 $|t_{end} - t_t|$ の時間より十分に短く($|t_t - t_0| << |t_{end} - t_t|$)なるよう［Sampling Int］設定を行い調整します。

参考として、色素増感太陽電池サンプルセルの「電子拡散係数測定」測定結果例を以下に示します。

測定結果　D1

測定結果　D2

測定結果　D3

測定結果　D4

＜測定条件＞

No.	Laser Ini→Fin	Sampling Int×Number
D1	3.500 [V]→3.250 [V]	200 [μs]×1000 [回]
D2	2.100 [V]→1.952 [V]	2400 [μs]×1000 [回]
D3	1.300 [V]→1.220 [V]	4800 [μs]×1000 [回]
D4	0.800 [V]→0.761 [V]	9600 [μs]×1000 [回]

膜厚：20.0 [μm]、面積：0.168 [cm^2]、N719、TiO_2サンプルセルを使用

9-5. 電子寿命(τ)測定

SLIM-PCV法による電子寿命の測定は以下の手順により行われます。

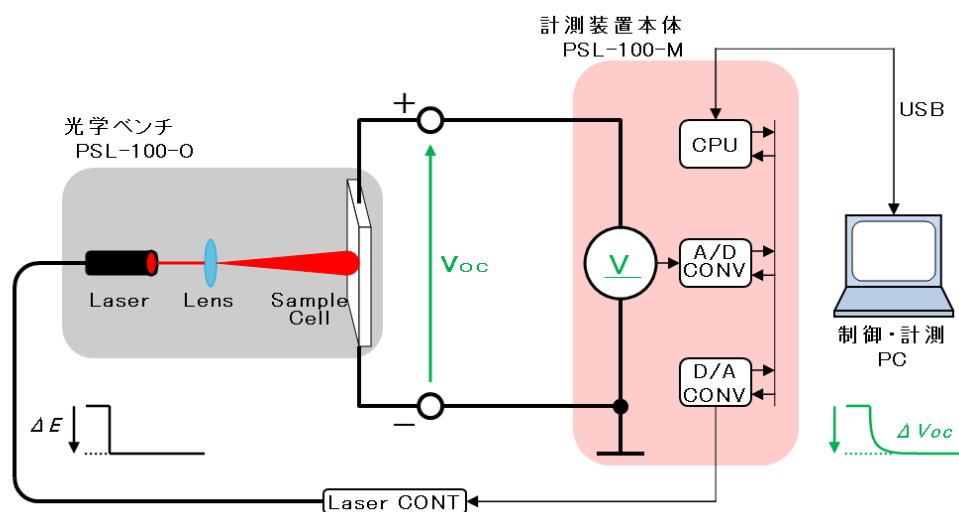



図 9-5-1. 電子寿命測定　測定概要

1. 光学ベンチ(PSL-100-O)内にセットされた色素増感太陽電池のサンプルセル受光面に対し、光源であるレーザから光を照射します。
2. サンプルセル半導体電極内部の光励起が十分に安定したところで、照射中のレーザ光強度を微小変化させます。
3. 計測装置本体(PSL-100-M)は、この一連の操作が行われている間、セル開放電圧(V_{oc})をモニターし続け、レーザ光強度を微小変化させた瞬間に起こる電圧「過渡応答反応」を計測します。
4. 計測されたデータは計測PCへと送られ、PSL-100ソフトウェア画面上に「電圧過渡応答波形」を表示します。

この測定シーケンスは下図(図9-5-2)のようになり、図中、上段が光源であるレーザからの「光強度微小変化」を、下段がサンプルセル開放電圧の「過渡応答」をそれぞれ表しております。

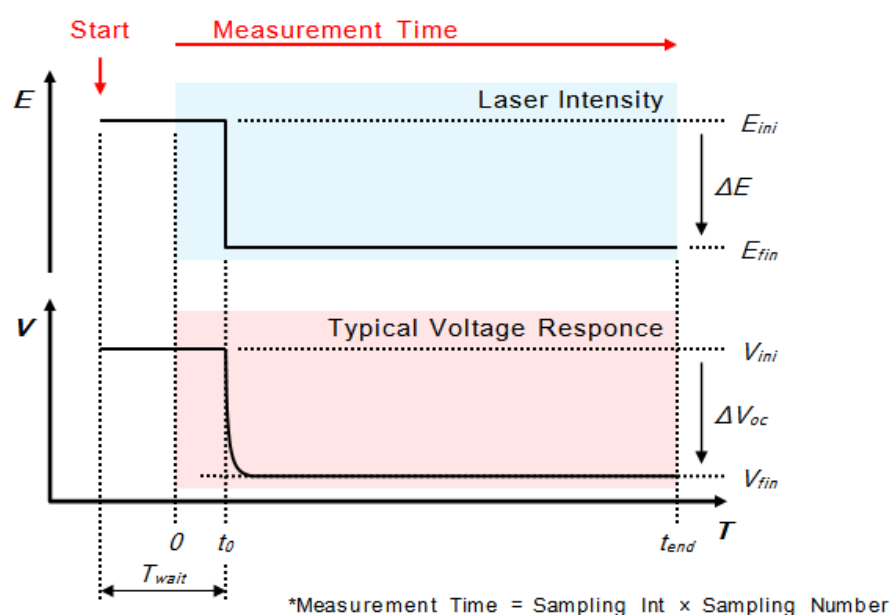



図 9-5-2. 電子寿命測定　測定シーケンス

SLIM-PCV法における「電子寿命」とは次式により定義されます。

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{n}{\tau} \quad (n:電子密度,\ \tau:電子寿命,\ t:時間) \quad \cdots (2)$$

色素増感太陽電池では、照射光強度の微小変化における「電圧過渡応答」は「電子密度」に比例すると近似できるため、「過渡電圧の変化」は「電子密度の変化」と考えられます。

このことから、測定によって得られた「電圧過渡応答波形」に対して “exp (-*t* / *τ*)” のフィッティングを行うことで電子寿命 “*τ*” を求めます。

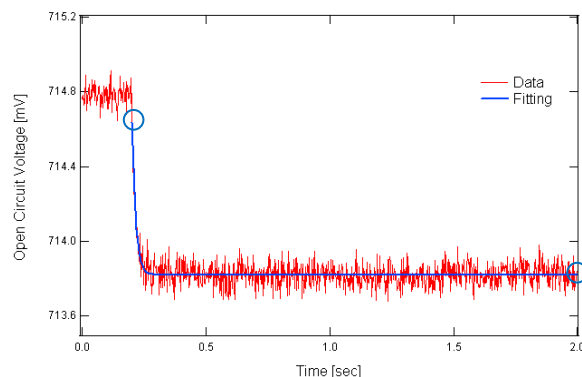
色素増感太陽電池における「電子寿命」には「光強度依存性」があります。
このことからSLIM-PCV法では1つのサンプルセルに対する上述「電子寿命測定」を、レーザ光強度を変化させながら数回行います。

PSL-100ソフトウェアでは、このSLIM-PCV法による「測定」から「算出」までの操作を簡単に行えます。

図 9-5-3. exp (-t / τ) によるフィッティング

1. 設定画面

PSL-100ソフトウェアを起動し「メイン画面(図9-1-8」上の［電子寿命(τ)測定］ボタンをクリックしますと、次図(図9-5-4)のように「電子寿命測定　設定画面」へと進みます。

図 9-5-4. 電子寿命測定　設定画面

この「設定画面」にあります各項目を入力し、［測定開始］ボタンをクリックしますと「電子寿命測定」を実行します。

① メニューバー

「電子寿命測定　設定画面」には2つのメニュー項目があります。

それぞれの項目をクリックすることでメニュー内容を表示し、操作・選択を行います。

ファイル(F):　ファイル操作を実行するための項目です。

メニュー内容は以下となります。

［開く(O)］：　過去に測定したデータファイル(.parファイル)を呼び出します。

［保存(S)］：　画面内に記入されている設定パラメータをデータファイル形式(.par)で保存します。

［戻る(C)］:　「設定画面」を終了し「メイン画面」へ戻ります。

設定(S)　設定操作を実行するための項目です。

本メニューには操作可能な項目はありません。

② パラメータ入力・表示

「電子寿命測定　設定画面」には9つのパラメータ入力・表示欄があります。

それぞれの欄をクリックし入力操作を行います。

File Name:　データファイル名(.parファイル)の表示欄です。

過去に測定したデータファイルを呼び出した際、そのファイル名を表示します。

Sampling Int (μs):　測定のサンプリング間隔を入力する欄です。

(測定必須パラメータ)　本欄で設定した時間間隔ごとに、測定データをサンプリングします。

単位:　[μs]、半角数字により入力します。

設定可能範囲:　10 [μs] ～ 9999990 [μs]

設定分解能:　10 [μs]

Sampling Number (回):　測定のサンプリング回数を設定する入力欄です。

(測定必須パラメータ)　本欄で設定した回数、測定データをサンプリングします。

単位:　[回]、半角数字により入力します。

設定可能範囲:　1 [回] ～ 9999 [回]

設定分解能:　1 [回]

待ち時間設定 (s):　サンプルセルの受光面に対しレーザ光を照射した際、光励起が安定するまでの照射時間(待ち時間)を設定する欄です。

(測定必須パラメータ)

単位:　[s]、半角数字により値を入力します。

設定可能範囲:　0 [s] ～ 3600 [s]

設定分解能:　1 [s]

Laser Initial (V):　測定時、サンプルセル受光面へ照射するレーザ光の光強度初期値を入力する欄です。

(測定必須パラメータ)

単位:　[V]、半角数字により値を入力します。

設定可能範囲:　0.100 [V] ～ 4.000 [V]

設定分解能:　0.001 [V]

Laser Final (V):　測定時、サンプルセル受光面へ照射するレーザ光の微小変化後光強度を入力する欄です。

(測定必須パラメータ)

必ず、“Laser Final ＜ Laser Initial” となるような値を入力します。

単位:　[V]、半角数字により値を入力します。

設定可能範囲:　0.100 [V] ～ 4.000 [V]

設定分解能:　0.001 [V]

サンプル膜厚設定 (μm): 測定に用いるサンプルセルの半導体電極膜厚値を入力する欄です。
(測定必須パラメータ) 本欄で入力した値を用いて「電子拡散係数」の算出を行います。

単位: [μm]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲: 0.01 [μm] ～ 99.99 [μm]
設定分解能: 0.01 [μm]

サンプル面積 (cm^2): 測定に用いるサンプルセルの受光面積値を入力する欄です。
(測定必須パラメータ)

単位: [cm^2]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲: 0.0001 [cm^2] ～ 16.0000 [cm^2]
設定分解能: 0.0001 [cm^2]

コメント: 測定に関するメモ書きや、サンプルセルの組成データなど任意のコメントが入力できます。
最大で全角64文字(半角128文字)まで入力可能です。

③ 操作ボタン

「電子寿命測定　設定画面」には4つの操作ボタンがあります。
ボタンをクリックして各操作を行います。

測定開始: 上記②の「測定必須パラメータ」入力後、本ボタンをクリックすることで「電子拡散係数」の測定を開始します。
「測定必須パラメータ」に未入力がある場合、本ボタンをクリックしても測定が開始されず、次図(図9-5-5)のような「エラーメッセージ」が現れますので修正を行ってください。

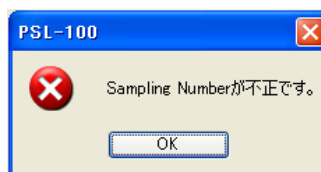



図 9-5-5. 測定開始時エラー例

Laser On: 光学ベンチ内の調整時など測定以外の状況でレーザ光を出力させる場合、本ボタンをクリックします。
本ボタンを押下した場合のレーザ光強度は、上記② [Laser Initial (V)] の入力値が反映されます。

Laser Off: 上記 [Laser On] 操作にて出力させたレーザ光を止める場合に本ボタンをクリックします。

戻る: 「設定画面」を終了し「メイン画面」へと戻る際、本ボタンをクリックします。

2. 測定中画面

「設定画面(図9-5-4)」内の「測定必須パラメータ」を入力した後、[測定開始]ボタンをクリックしますと「電子寿命測定」が開始され、次図(図9-5-6)のように「測定中画面」へと進みます。

測定を途中で強制終了させる場合には、「測定中画面」内にあります[中止]ボタンをクリックしますと測定は中止され、「設定画面」へと戻ります。

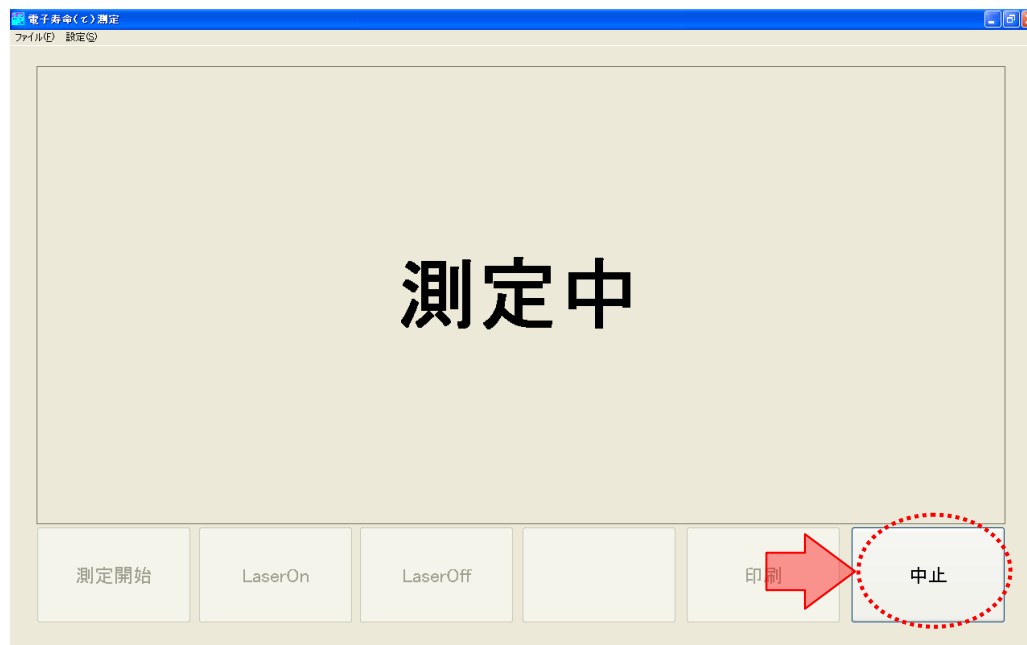



図 9-5-6. 電子寿命測定　測定中画面

3. 測定結果画面

測定が終了しますと次図(図9-5-7)のように「測定結果画面」へと進みます。

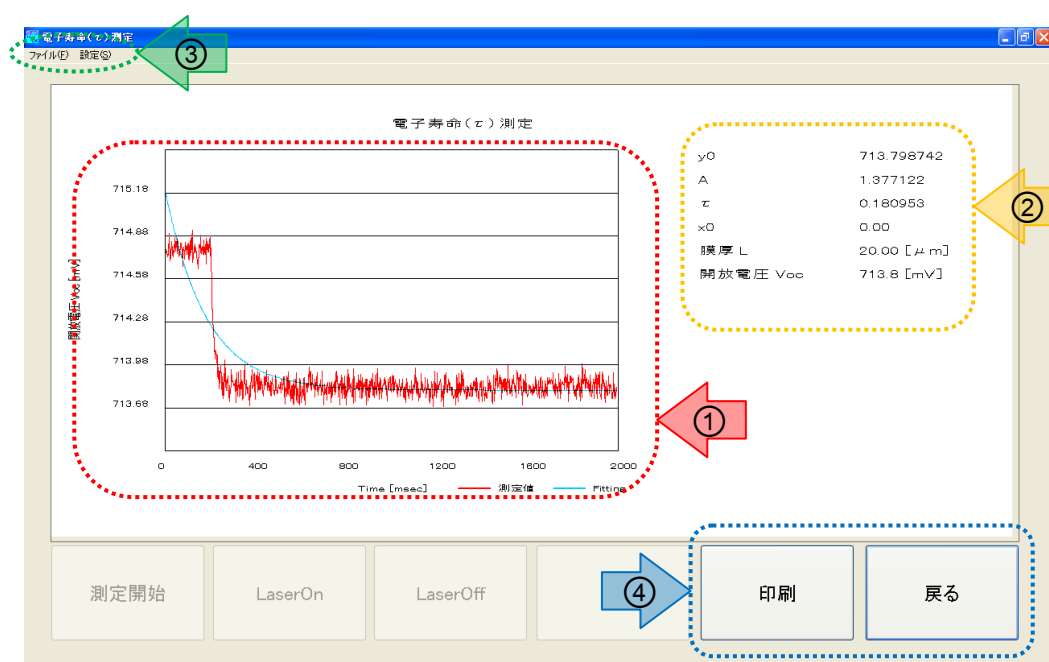



図 9-5-7. 電子寿命測定　測定結果画面

① 測定結果－グラフ表示

「電子寿命測定」結果を「時間－電圧」のグラフとして描画します。

又、測定結果である「電圧過渡応答波形(赤線)」に対する「フィッティング曲線(青線)」を重ね描きします。

② 測定結果－数値データ表示

上記①の「測定結果グラフ」から得られる数値データを表示します。

y_0, A, τ, x_0 :　「電流過渡応答波形」に対する「フィッティング曲線」方程式のパラメータ(係数)です。

膜厚L:　サンプルセルの半導体電極膜厚値です。
この値は「設定画面」で入力した[サンプル膜厚設定]の値となります。

開放電圧V_{oc}:　レーザ光強度終期値時のサンプルセル開放電圧値を表示します。

③ メニューバー

「電子拡散係数測定　測定結果画面」には2つのメニュー項目があります。

それぞれの項目をクリックすることでメニュー内容を表示し、操作・選択を行います。

ファイル(F):　ファイル操作を実行するための項目です。
メニュー内容は以下となります。
[開く(O)]:　過去に測定したデータファイル(.parファイル)を呼び出します。
[保存(S)]:　表示されている測定結果をデータファイル形式(.parファイル)で保存します。
[戻る(C)]　「測定結果画面」を終了し「設定画面」へ戻ります。

設定(S):　設定操作を実行するための項目です。
メニュー内容は[フィッティング]となり、「電流過渡応答波形」に対する「フィッティング曲線」の開始点と終了点を設定する子画面を呼び出します。

④ 操作ボタン

「電子寿命測定　測定結果画面」には2つの操作ボタンがあります。

ボタンをクリックして各操作を行います。

印刷:　PCにプリンターが接続されている場合、本ボタンをクリックすることにより「測定結果画面」のグラフ表示部および、数値データ表示部を印刷することができます。

戻る:　「測定結果画面」を終了し「設定画面」へ戻ります。

4. フィッティング

SLIM-PCV法による「電子寿命(τ)」の導出は、測定により得られたセル開放電圧の「過渡応答波形」に対して "exp ($-t / \tau_c$)" の「フィッティング」を行い、係数 "τ" を求める必要があります。

PSL-100ソフトウェアでは「測定結果画面」上からこの「曲線フィッティング」操作を行い、係数 "τ" を自動的に求めることができます。

先述、『9-5. 電子寿命(τ)測定、3. 測定結果画面』のとおり、測定が正常に終了しますと、下図(図9-5-8)のような結果グラフが表示されます。

グラフ内の赤線による表示が測定により得られたセル開放電圧の「過渡応答波形」、青線による表示が応答波形に対する "exp ($-t / \tau_c$)" の「フィッティング曲線」となります。

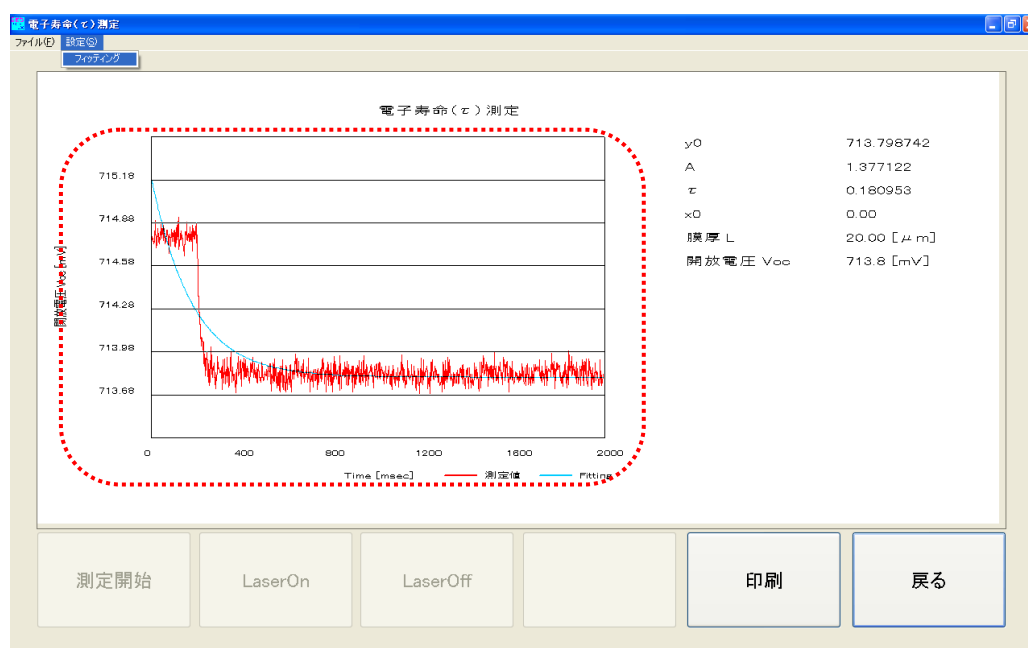



図 9-5-8. 電子寿命測定　測定結果グラフ表示

上図(図9-5-8)では、過渡応答波形(赤線)に対するフィッティング(青線)がうまくできていない状態となっています。

このままでは正確な「電子寿命(τ)」を導出することができませんので、フィッティング(青線)の開始位置を「過渡応答波形(赤線)」垂下直後のポイントへ修正する必要があります。(図9-5-9)

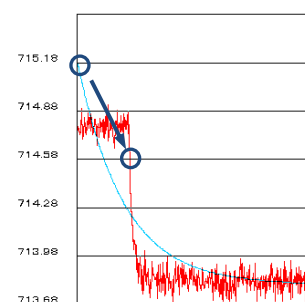



図 9-5-9. フィッティングポイントの修正

このフィッティングポイントの修正を行うため、「測定結果画面」のメニューバー[設定(S)]→[フィッティング]を選択し、「フィッティングの設定」子画面(図9-5-10)を起動させます。

この「フィッティングの設定」子画面内、[開始]および[終了]の設定値を変更することで、「フィッティング曲線」操作を行います。

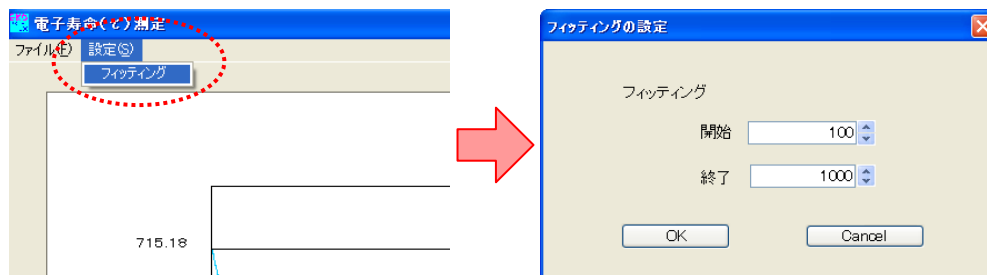
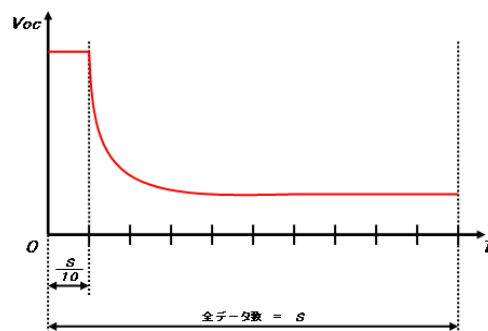



図 9-5-10. フィッティングの設定

PSL-100ソフトウェアの「電子寿命(τ)測定」結果グラフ表示では、セル開放電圧の「過渡応答波形」垂下ポイントを適切に捉えるため、このポイントが全データ数の10%目となるようデータサンプリングを行っています。(図9-5-11)

図 9-5-11. 過渡応答波形の垂下ポイン

ここで、全データ数とは「設定画面」内の[Sampling Number]設定値を指します。

上記の例では、全データ数を「1000点」としていますので、その10%である「100点」をフィッティング開始の目安とします。

実際には、「過渡応答波形」の垂下が明確となるポイントを開始点としますので、ここから数点加算した101点～103点程度の値を設定することで最適な「フィッティング曲線」が得られます。

尚、フィッティングの終了点は全データ数と同じ値を設定します。

測定結果画面(図9-5-7)の「フィッティング曲線」を[開始:101]、[終了:1000]と設定し、再描画させたグラフを次図(図9-5-12)に示します。

セル開放電圧の「過渡応答波形(赤線)」に対する「フィッティング(青線)」が最適となっています。
又、「測定結果画面内」の数値データ部もフィッティングの修正により更新されていることがわかります。

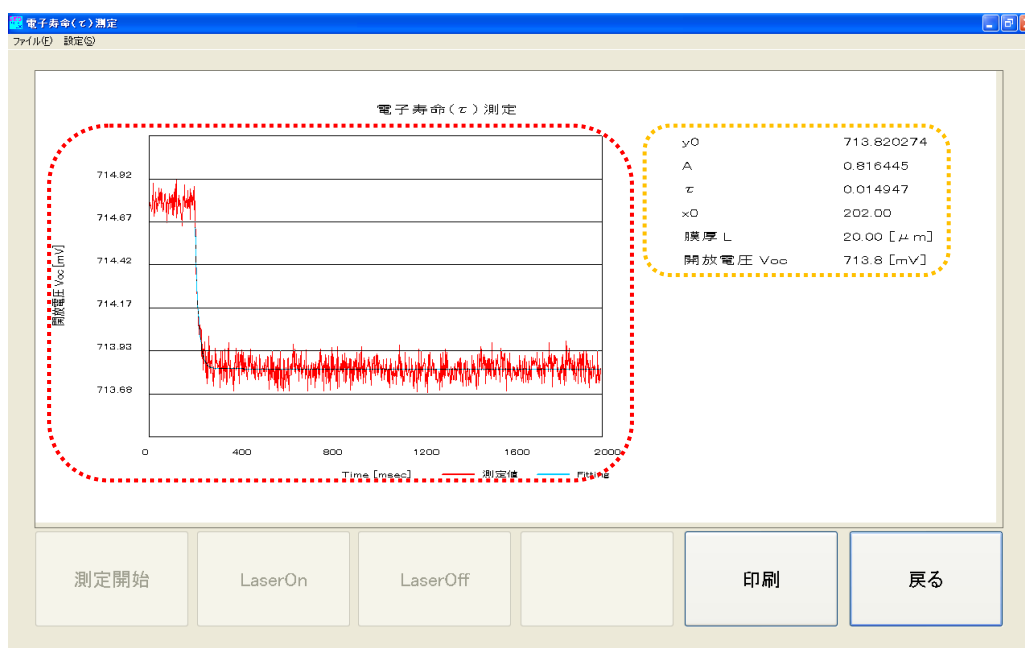



図 9-5-12. 電子寿命測定 フィッティング最適化グラフ

5. データ保存

測定結果データを保存するには、「測定結果画面」のメニューバー[ファイル(F)]→[保存(S)]を選択し、「名前を付けて保存」子画面を起動させます。(図9-5-13)

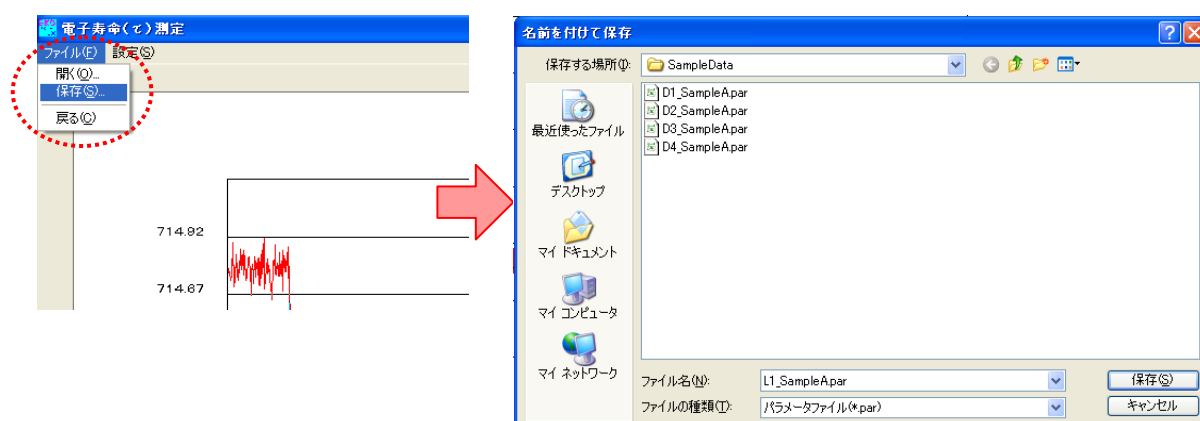



図 9-5-13. データ保存

「名前を付けて保存」子画面内[ファイルの場所(I)]には、『9-2. 測定データフォルダーの作成』で作成したフォルダーを指定します。

SLIM-PCV法では、測定に使用するサンプルセルの「光強度依存」傾向を考察するため、異なるレーザ光強度における「電子寿命測定」を4回～8回行います。

これらの測定データを効率よく整理するため、PSL-100ソフトウェアでは次のような「ファイル名」のルールを定めています。

電子寿命の測定データは

＜L1_XXX.par＞、＜L2_XXX.par＞、・・・・・

のように必ず"L"から始まる3文字のヘッダを付記します。(図9-5-14)

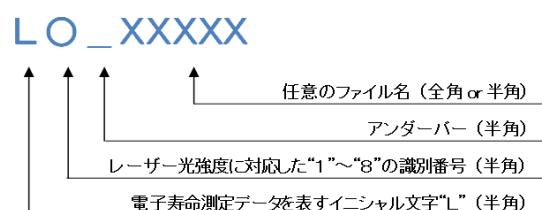



図 9-5-14. 電子寿命 データファイル名ルール

1文字目: "L"は電子寿命の測定データであることを意味します。

2文字目: レーザ光強度初期値の強弱順に "1" ～ "8" までの数字が入ります。

3文字目: アンダーバーを入れ、この後に任意のファイル名を付けます。

又、測定データファイルの拡張子は".par"で、これはカンマ区切りのテキストファイル形式となります。

このルールによる「ファイル名」を「名前を付けて保存」子画面内[ファイル名(N)]欄に入力し、[保存(S)]ボタンをクリックします

6. データ読み込み

PSL-100ソフトウェアでは過去に測定した「測定結果データ」を読み込み、「測定結果画面」を再現することができます。

「電子寿命測定　設定画面(図9-5-4)」又は「電子寿命測定　測定結果画面(図9-5-7)」画面のメニューバーから[ファイル(F)]→[開く(O)]と選択し、「ファイルを開く」子画面を起動させます。(図9-5-15)

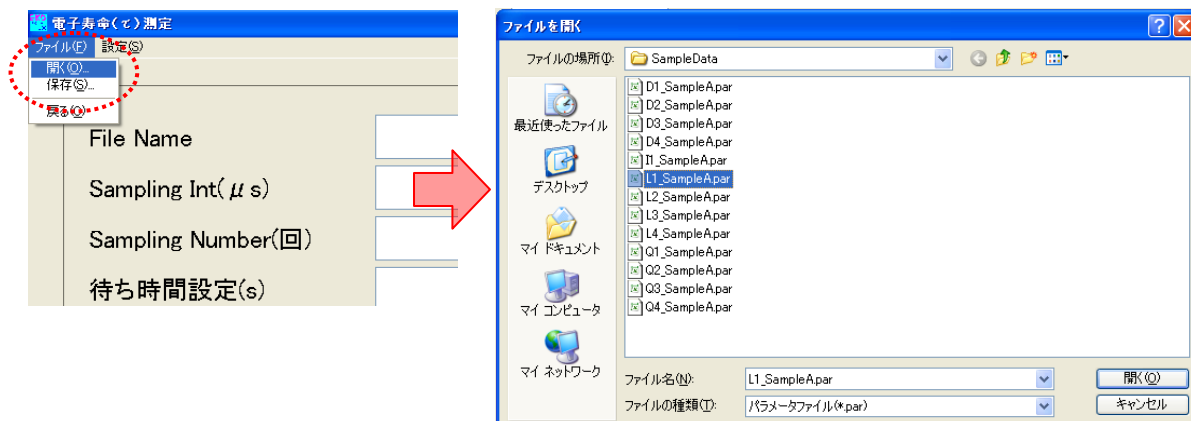



図 9-5-15. データ読み込み

「ファイルを開く」子画面内から、読み込みを行いたい電子寿命測定結果データ"L$_xxx.par"ファイルを指定し、[開く(O)]ボタンをクリックします。

ここで、「電子寿命測定」以外の測定結果データを指定しますと、次図(図9-5-16)のような「エラー画面」が表示されますので、操作をやり直してください。

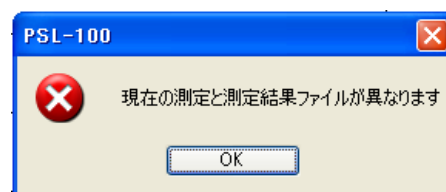



図 9-5-16. ファイル読み込みエラー画面

正しくファイル名を指定しますと、次図(図9-5-17)のように過去に測定した電子寿命測定の結果画面が表示されます。(このファイルを保存した時の「フィッティング結果」も再現されます。)

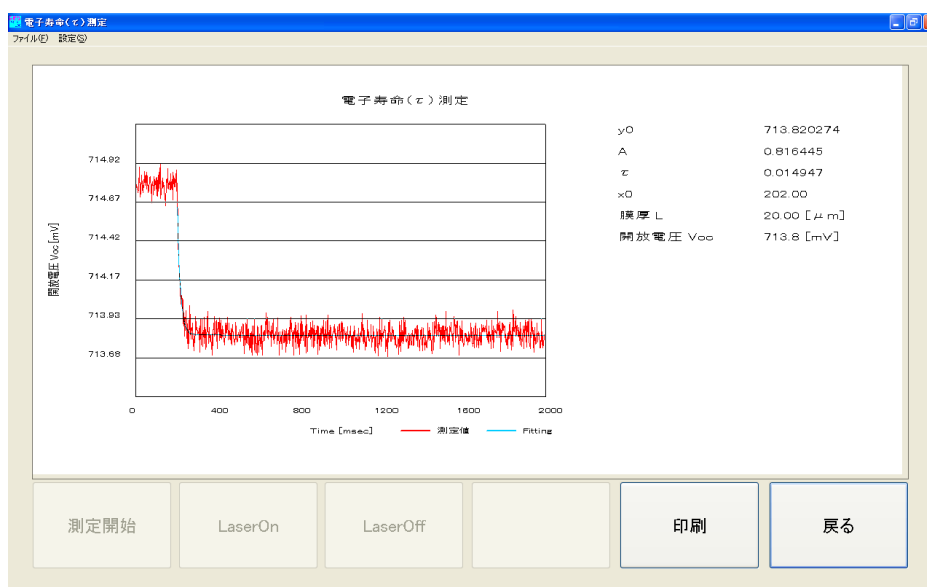



図 9-5-17. 測定結果データの読み込み完了

又、この画面から[戻る]ボタンをクリックしますと、測定条件を確認することができます。

8. 測定に関して

SLIM-PCV法による電子寿命の測定では、色素増感太陽電池サンプルセルに対する光照射を微小変化させた際の「電圧過渡応答波形」を観測しますが、測定原理上この「過渡応答幅：ΔV_{oc}」を “1 [mV]” 幅以内にする必要があります。(図9-5-18)

この「電圧過渡応答幅：ΔV_{oc}」は、サンプルセルに対するレーザ光強度の「微小変化量：ΔE」と相関しますので、実際の測定では「微小変化量：ΔE」の設定値が重要なポイントとなります。

先述のとおり、PSL-100ソフトウェア設定画面［Laser Initial］と［Laser Final］の差が「微小変化量：ΔE」となります。
［Laser Initial］照射時サンプルセル開放電圧値(図中“V_{ini}”)と［Laser Final］照射時サンプルセル開放電圧値(図中“V_{fin}”)の差が“1 [mV]”以下となるよう光強度の設定を行いますと、理想的な「電圧過渡応答幅：ΔV_{oc}」を得ることができます。

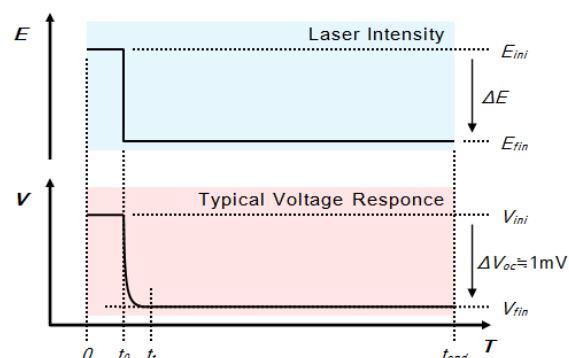
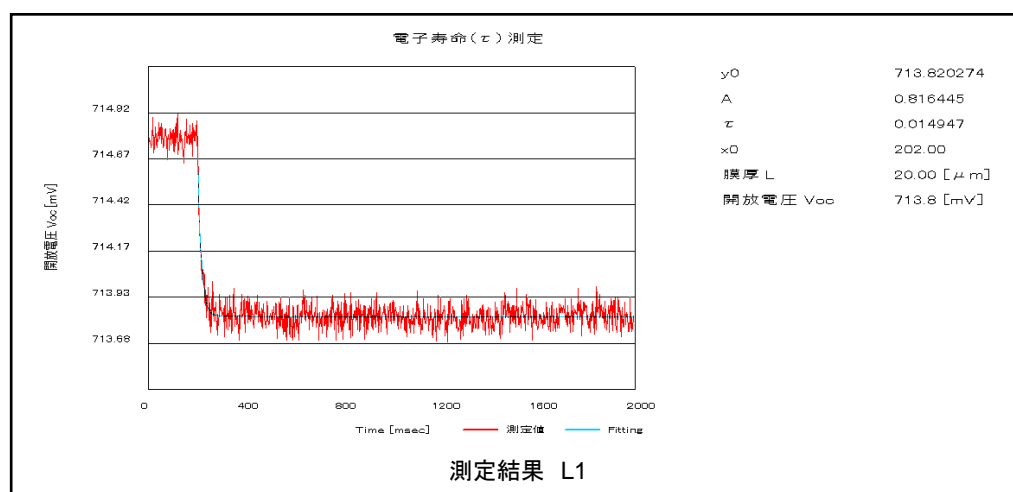
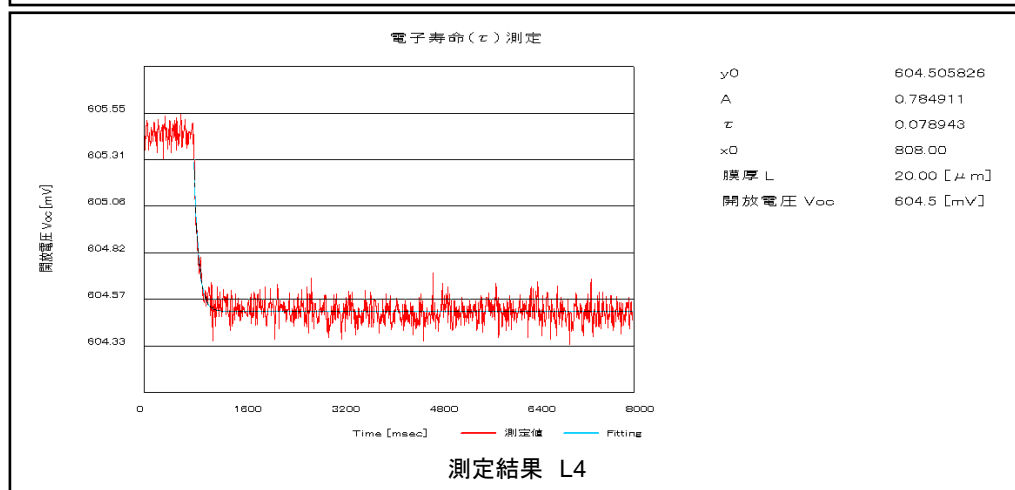
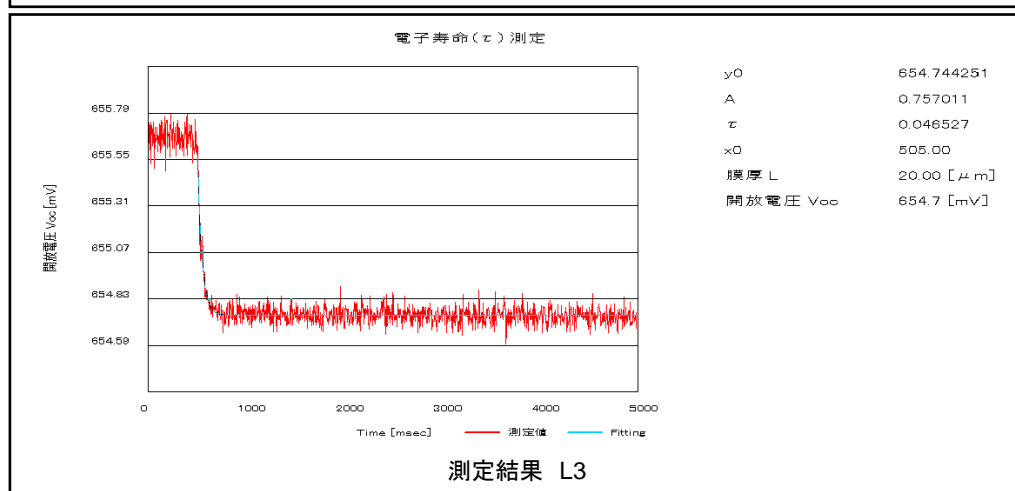
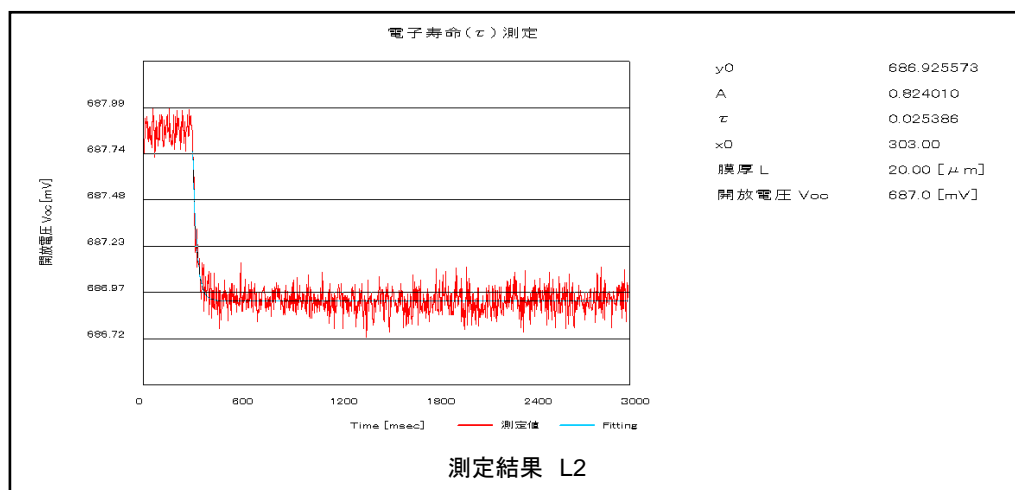



図 9-5-18. 電圧過渡応答幅とレーザ微小変化量

又、解析に用いる電子寿命の値は、実測定により取得した「電圧過渡応答波形」に対して “exp ($-t$ / τ)” のフィッティングを行うことから求めますので、過渡応答波形は最適なフィッティング結果が得られる「応答時間」とする必要もあります。

この「応答時間」は光のステップによって過渡の状態にある上図 | $t_t - t_0$ | の時間であり、「定常(収束)状態」となる上図 | $t_{end} - t_t$ | の時間より十分に短く(| $t_t - t_0$ | << | $t_{end} - t_t$ |)なるよう［Sampling Int］設定を行い調整します。

参考として、色素増感太陽電池サンプルセルの「電子寿命測定」測定結果例を以下に示します。

測定結果 L1

＜測定条件＞

No.	Laser Ini→Fin	Sampling Int×Number
L1	3.500 [V]→3.435 [V]	2000 [μs]×1000 [回]
L2	2.100 [V]→2.067 [V]	3000 [μs]×1000 [回]
L3	1.300 [V]→1.285 [V]	5000 [μs]×1000 [回]
L4	0.800 [V]→0.794 [V]	8000 [μs]×1000 [回]

膜厚：20.0 [μm]、面積：0.168 [cm^2]、N719、TiO_2サンプルセルを使用

9-6. 電子密度(*n*)測定

SLIM-PCV法による電子密度の測定は以下の手順により行われます。

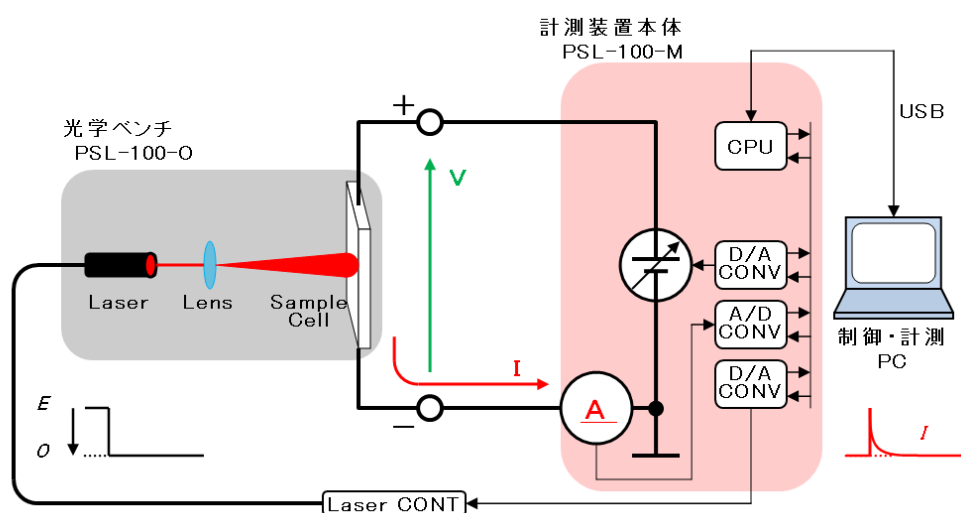



図 9-6-1. 電子密度測定　測定概要

1. 計測装置本体(PSL-100-M)「リソースバイアス電源」の設定値 "0 [V]"とします。
   このことにより、光学ベンチ(PSL-100-O)内にセットされた色素増感太陽電池サンプルセルの出力両端が仮想的に「短絡状態」となります。(図9-6-2)

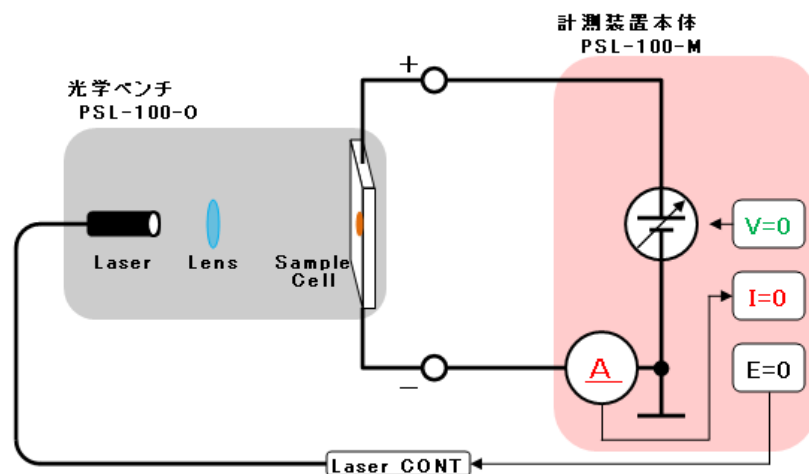



図 9-6-2. セルの仮想短絡

2. サンプルセル受光面に対して光強度“E_{ini}”のレーザ光を照射しますと、光励起したセルから仮想的な「短絡電流(I_{sc})」が流れます。
計測装置本体は、この電流値を計測します。(図9-6-3)

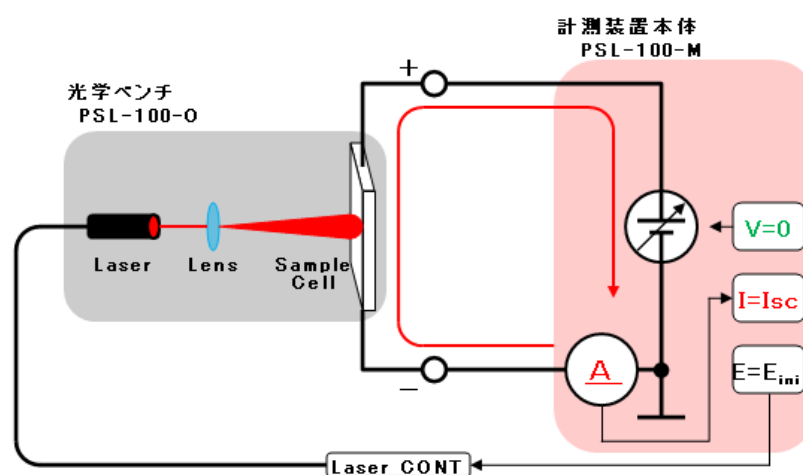



図 9-6-3. 仮想短絡電流

3. 光強度“E_{ini}”でのレーザ光照射を続けたまま「リソースバイアス電源」の設定値を徐々に上げますと、計測中の電流値が減少して行きます。

結果的に、「リソースバイアス電源の設定値」が「光強度“E_{ini}”におけるセル開放電圧」と同じ値になった時、計測中の電流値が “0 [mA]” となります。
このポイントを仮想的な「開放電圧(V_{oc})」状態と考えます。(図9-6-4)

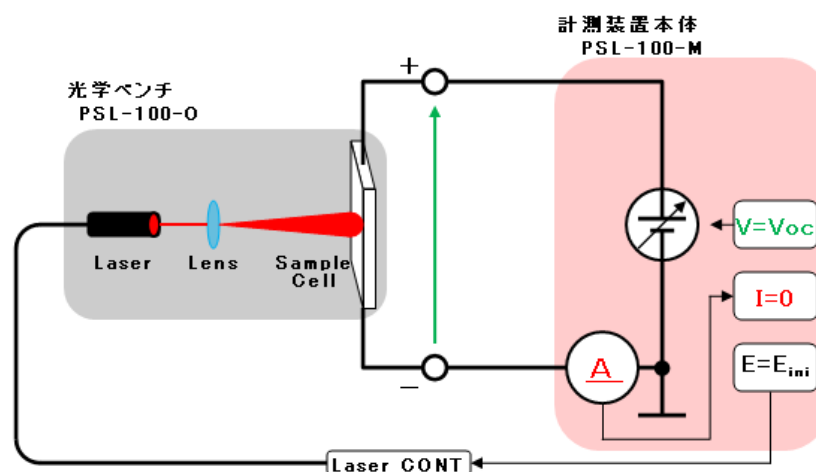



図 9-6-4. 仮想開放電圧

4.　仮想的な開放電圧状態となったところで、セルに対する「バイアス電位の印加」と「レーザ光照射」を同時に「OFF」にします。
この操作により、セル内部に蓄えられた「電子」が「電流」というかたちで計測されます。

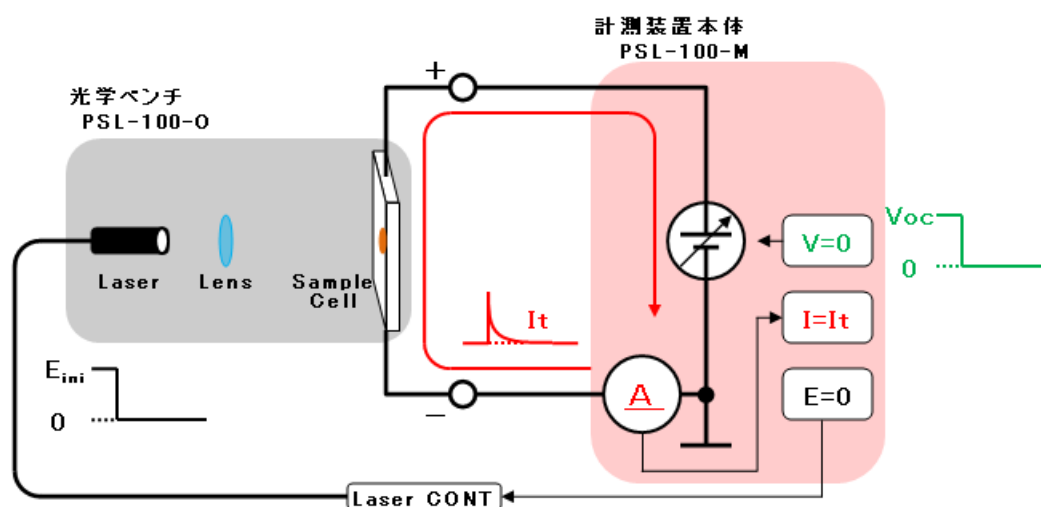



図 9-6-5. 内部励起電子の計測

5.　計測装置本体はこの一連の操作に対する制御・モニターを行い、「バイアス電位の印加」と「レーザ光照射」を同時に「OFF」にした瞬間に起こる「電流過渡応答」を計測します。
6.　計測されたデータは計測PCへと送られ、PSL-100ソフトウェア画面上に「電流過渡応答波形」を表示します。

この測定シーケンスは次図(図9-6-6)のようになり、図中、上段が光源であるレーザの「光強度制御」を、中段がリソースバイアスの「印加電圧制御」を、下段がサンプルセル電流の「過渡応答」をそれぞれ表しています。

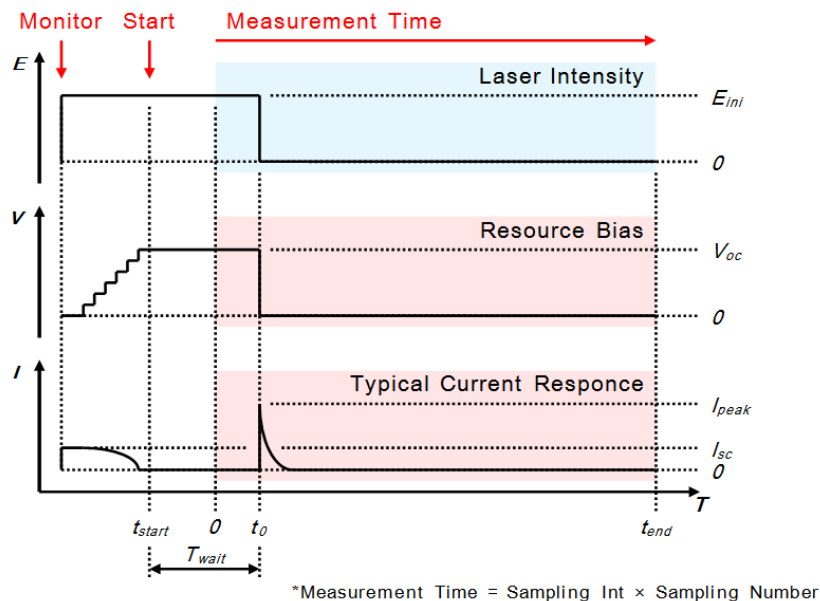



図 9-6-6. 電子密度測定　測定シーケンス

SLIM-PCV法では、測定によって得られた「電流過渡応答波形」を時間積分することでサンプルセルから抽出された「電荷量:Q [C]」を算出します。

$$Q = \int_{t_0}^{t_{end}} I_t \, dt \quad (Q:\text{電荷量},\ I_t:\text{計測電流},\ t:\text{時間}) \quad \cdots (3)$$

この電荷量を次式に代入することで、「電子密度:n [cm^{-3}]」を算出します。

$$n = \frac{Q}{q \times A \times L \times (1-\rho) \times 10^{-4}} \quad \cdots (4)$$

$$\left(\begin{array}{l} n:\text{電子密度}\ [cm^{-3}] \\ Q:\text{電荷量}\ [C] \\ q:\text{電子素量}(1.602 \times 10^{-19})\ [C] \\ A:\text{セル受光部面積}\ [cm^2] \\ L:\text{半導体電極膜厚}\ [\mu m] \\ \rho:\text{空孔率} \end{array} \right)$$

SLIM-PCV法では1つのサンプルセルに対する上述「電子密度測定」を、レーザ光強度を変化させながら数回行います。

PSL-100ソフトウェアでは、このSLIM-PCV法による「測定」から「算出」までの操作を簡単に行えます。

1. 設定画面

PSL-100ソフトウェアを起動し「メイン画面(図9-1-8)」上の［電子密度(*n*)測定］ボタンをクリックしますと、次図(図9-6-7)のように「電子密度測定　設定画面」へと進みます。

図 9-6-7. 電子密度測定　設定画面

この「設定画面」にあります各項目を入力し、仮想開放電圧状態の設定(モニターモード)および「電子密度測定」を実行します。

① メニューバー

「電子密度測定　設定画面」には2つのメニュー項目があります。
それぞれの項目をクリックすることでメニュー内容を表示し、操作・選択を行います。

ファイル(F):　ファイル操作を実行するための項目です。
メニュー内容は以下となります。

［開く(O)］：　過去に測定したデータファイル(.parファイル)を呼び出します。
［保存(S)］：　画面内に記入されている設定パラメータをデータファイル形式(.par)で保存します。
［戻る(C)］:　「設定画面」を終了し「メイン画面」へ戻ります。

設定(S)　設定操作を実行するための項目です。
本メニューには操作可能な項目がありません。

② パラメータ入力・表示

「電子密度測定　設定画面」には12のパラメータ入力・表示欄があります。

それぞれの欄をクリックし入力操作を行います。

File Name:　　データファイル名(.parファイル)の表示欄です。
過去に測定したデータファイルを呼び出した際、そのファイル名を表示します。

Sampling Int (μs):
(測定必須パラメータ)
測定のサンプリング間隔を入力する欄です。
本欄で設定した時間間隔ごとに、測定データをサンプリングします。

単位:　[μs]、半角数字により入力します。
設定可能範囲:　10 [μs] ～ 9999990 [μs]
設定分解能:　10 [μs]

Sampling Number (回):
(測定必須パラメータ)
測定のサンプリング回数を設定する入力欄です。
本欄で設定した回数、測定データをサンプリングします。

単位:　[回]、半角数字により入力します。
設定可能範囲:　1 [回] ～ 9999 [回]
設定分解能:　1 [回]

待ち時間設定 (s):
(測定必須パラメータ)
サンプルセルの受光面に対しレーザ光を照射した際、光励起が安定するまでの照射時間(待ち時間)を設定する欄です。

単位:　[s]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲:　0 [s] ～ 3600 [s]
設定分解能:　1 [s]

Laser Initial (V):
(測定必須パラメータ)
測定時、サンプルセル受光面へ照射するレーザ光の光強度初期値を入力する欄です。

単位:　[V]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲:　0.100 [V] ～ 4.000 [V]
設定分解能:　0.001 [V]

リソースバイアス (V)
「モニターモード」でサンプルセルを仮想開放電圧へと設定する際、セルに印加するバイアス電位量を入力する欄です。
入力欄横にあります[SET]ボタンをクリックすることで、入力値を確定します。

単位:　[V]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲:　0.100 [V] ～ 4.000 [V]
設定分解能:　0.001 [V]

サンプル膜厚設定 (μm):
(測定必須パラメータ)
測定に用いるサンプルセルの半導体電極膜厚値を入力する欄です。
本欄で入力した値を用いて「電子密度」の算出を行います。

単位:　[μm]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲:　0.01 [μm] ～ 99.99 [μm]
設定分解能:　0.01 [μm]

サンプル面積 (cm^2):
(測定必須パラメータ)
測定に用いるサンプルセルの受光面積値を入力する欄です。
本欄で入力した値を用いて「電子密度」の算出を行います。

単位:　[cm^2]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲:　0.0001 [cm^2] ～ 16.0000 [cm^2]
設定分解能:　0.0001 [cm^2]

空孔率: (測定必須パラメータ)	セル半導体委電極に用いられる多孔質材の空孔率を入力する欄です。 本欄で入力した値を用いて「電子密度」の算出を行います。 空孔率(ρ)は“0≦ρ＜1”の値となり、“0”のときが空孔無しとなります。 本項目の情報を必要とされない場合には、算出結果に影響がない“0”を入力してください。 本欄は半角数字により値を入力します。 設定可能範囲: 0.000 ～ 1.000 設定分解能: 0.001
コメント:	測定に関するメモ書きや、サンプルセルの組成データなど任意のコメントが入力できます。 最大で全角64文字(半角128文字)まで入力可能です。
Monitor	「モニターモード」でサンプルセルを仮想開放電圧へと設定する際、操作中のセル出力「電圧」および「電流」リアルタイム計測値を表示します。 上段: V [mV] (電圧値) 下段: I [mA] (電流値)
測定レンジ	「モニターモード」でサンプルセルを仮想開放電圧へと設定する際、セルから出力される電流の計測レンジを設定する項目です。 プルダウンメニューにある4つの中から最適の電流計測レンジを選択します。 尚、空欄にしますと、自動的に[100mA]レンジが選択されます。 選択項目: 100mA/10mA/1mA/100μA

③ 操作ボタン

「電子密度測定　設定画面」には5つの操作ボタンがあります。
ボタンをクリックして各操作を行います。

測定開始:	上記②の「測定必須パラメータ」入力後、本ボタンをクリックすることで「電子密度」の測定を開始します。 「測定必須パラメータ」に未入力がある場合、本ボタンをクリックしても測定が開始されず、次図(図9-6-8)のような「エラーメッセージ」が現れますので修正を行ってください。

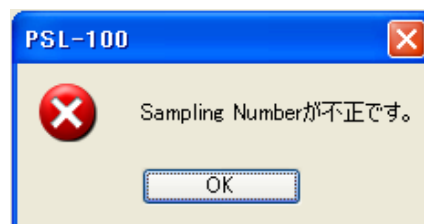



図 9-6-8. 測定開始時エラー例

Laser On:	光学ベンチ内の調整時など測定以外の状況でレーザ光を出力させる場合、本ボタンをクリックします。 本ボタンを押下した場合のレーザ光強度は、上記② [Laser Initial (V)] の入力値が反映されます。
Laser Off:	上記 [Laser On] 操作にて出力させたレーザ光を止める場合に本ボタンをクリックします。
Monitor	仮想開放電圧状態を設定する「モニターモード」を開始する際、本ボタンをクリックします。
戻る:	「設定画面」を終了し「メイン画面」へと戻る際、本ボタンをクリックします。

2. モニターモード 操作手順

先述のとおり「電子密度測定」では、光照射下の色素増感太陽電池サンプルセルに対して「バイアス電位」を印加することにより、まず「仮想開放電圧状態」とする必要があります。
この「仮想開放電圧状態」となったサンプルセルへの「光照射」と「バイアス電位の印加」を同時に「OFF」することで観測できるセル「電流過渡応答波形」から「電子密度」を導出します。

ここでは、測定に用いるサンプルセルを「仮想開放電圧状態」とする「モニターモード」の操作手順について説明します。

「設定画面(図9-6-7)」内の「測定必須パラメータ」を入力した後、画面内[測定電流レンジ]項目から電流モニターを行う際のフルスケールレンジを設定します。(図9-6-9)
測定に用いるサンプルセルにより多少の差はありますが、「モニターモード」の開始時は “1mA” レンジの選択をお勧めします。

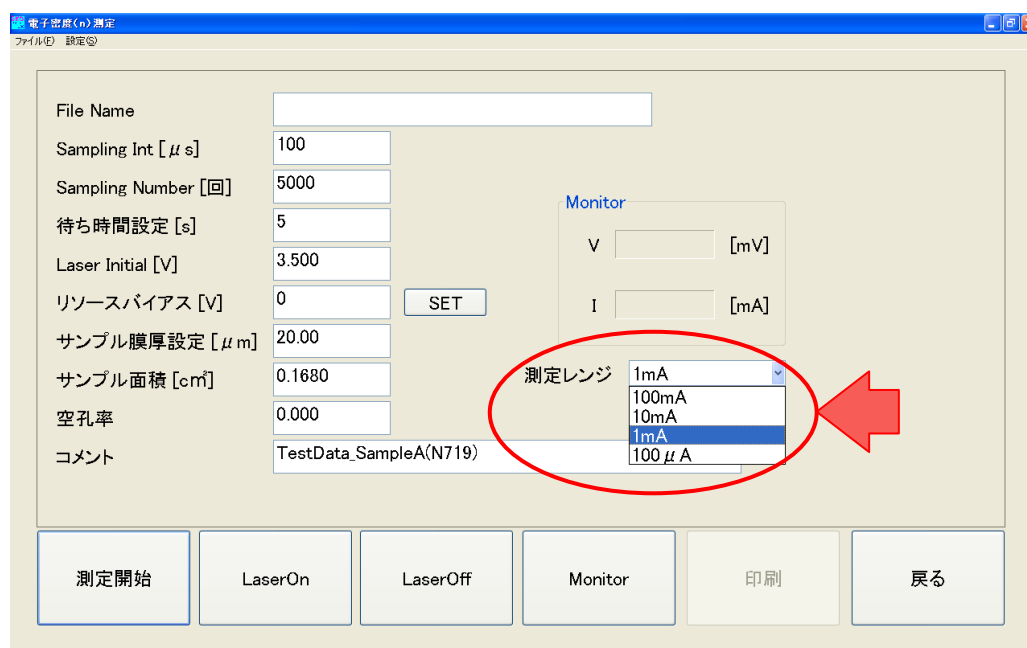



図 9-6-9. モニターモード 電流レンジの設定

[リソースバイアス(V)]の設定値が“0”となっていることを確認し[Monitor]ボタンをクリックしますと、画面内「リアルタイムモニター」の表示が開始されます。(図9-6-10)

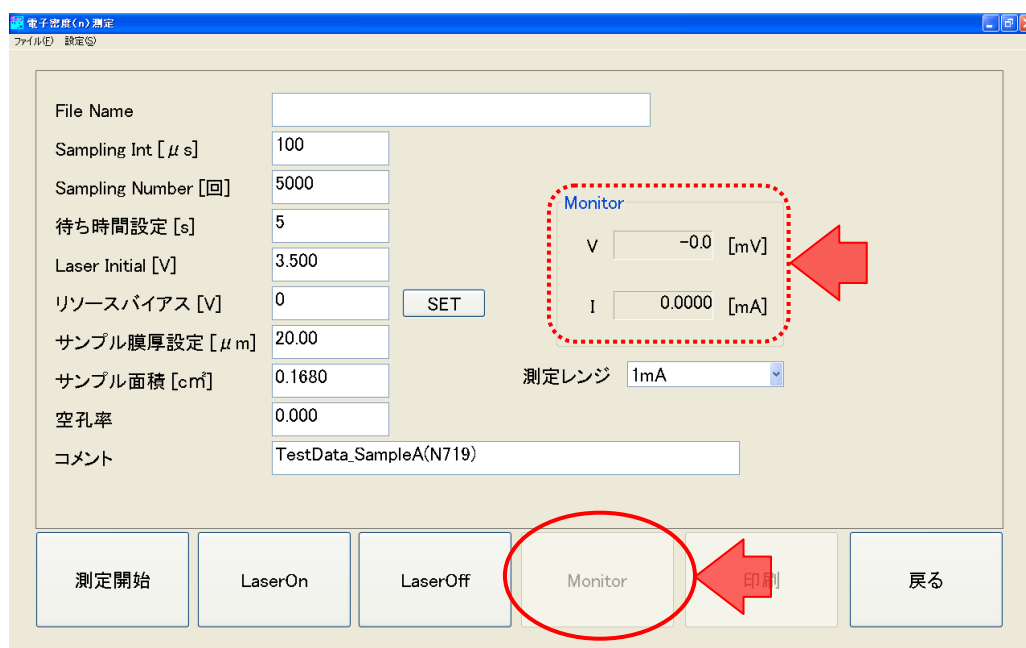



図 9-6-10. モニターモード開始

ここで、[Laser On]ボタンをクリックしますと、[Laser Initial (V)]設定値による光強度でサンプルセルに対しレーザ光照射を行います。

この時、サンプルセルは「リソースバイアス電源」により仮想的に短絡されていますので、計測された「短絡電流値」を「リアルタイムモニター」に表示します。(図9-6-11)

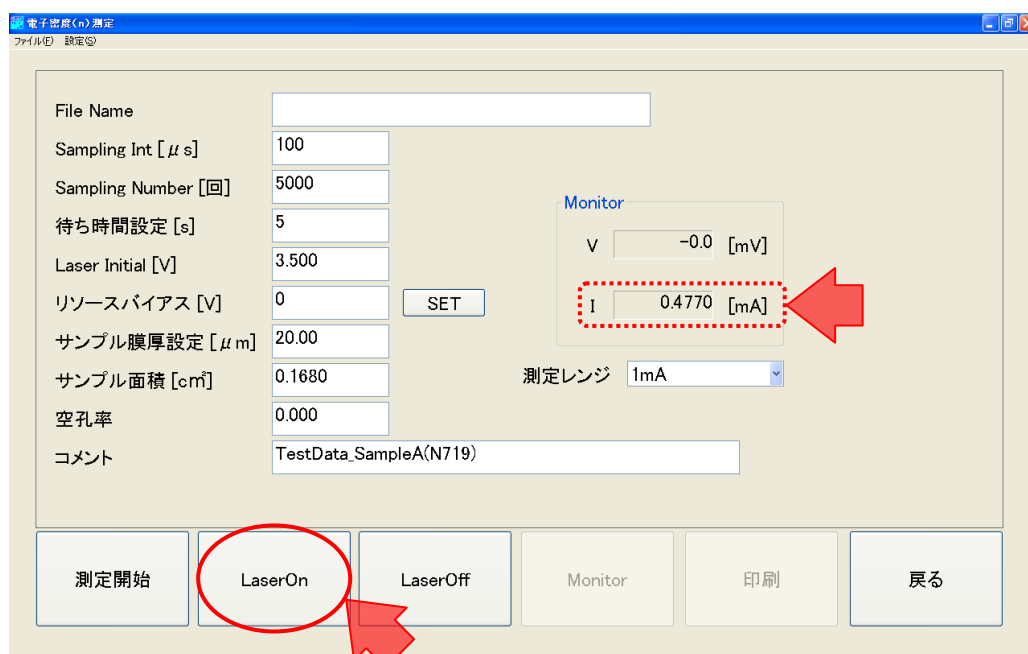



図 9-6-11. モニターモード LaserOn

「モニターモード」では[リソースバイアス(V)]の設定電位を徐々に上げていきながら、「リアルタイムモニター」表示される「電流値」を限りなく"0"に近づけることでセルの「仮想開放電圧状態」を設定します。

モニターモード中の「リソースバイアス印加電位」変更は、次図(図9-6-12)のとおり[リソースバイアス(V)]設定欄へ印加させたい電位量を入力し、[SET]ボタンをクリックすることで行います。

[SET]ボタンを押しますとセルへのバイアス電位印加量の変更が確定し、実際のセル電圧計測値が「リアルタイムモニター」に表示されます。

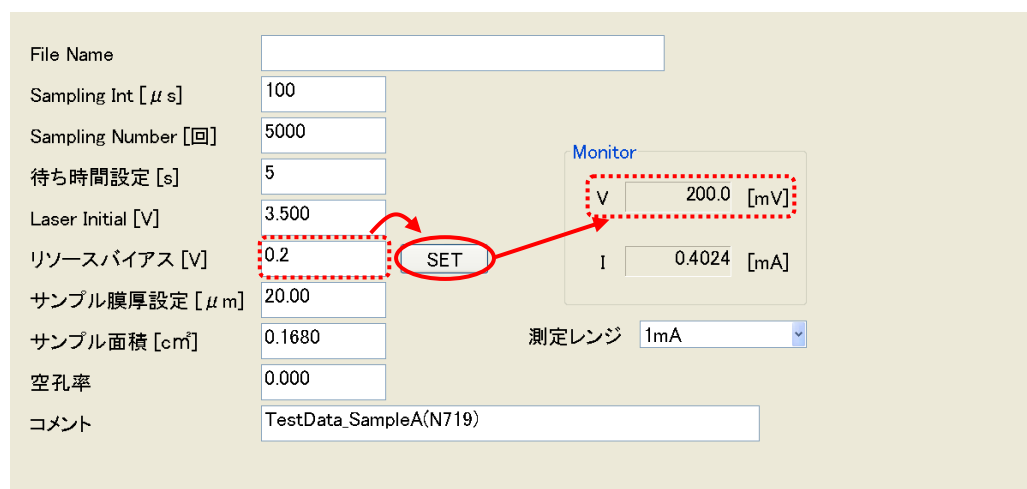



図 9-6-12. モニターモード リソースバイアス電位量の変更

バイアス電位印加量を徐々に増加させますとセルから出力される「電流」は減少して行きますので、その計測される電流値に合わせ［測定レンジ］を変更します。

次図(図9-6-13)のように電流計測値が “0.1000 [mA]” 以下となりましたら、［100μA］レンジを使用します。

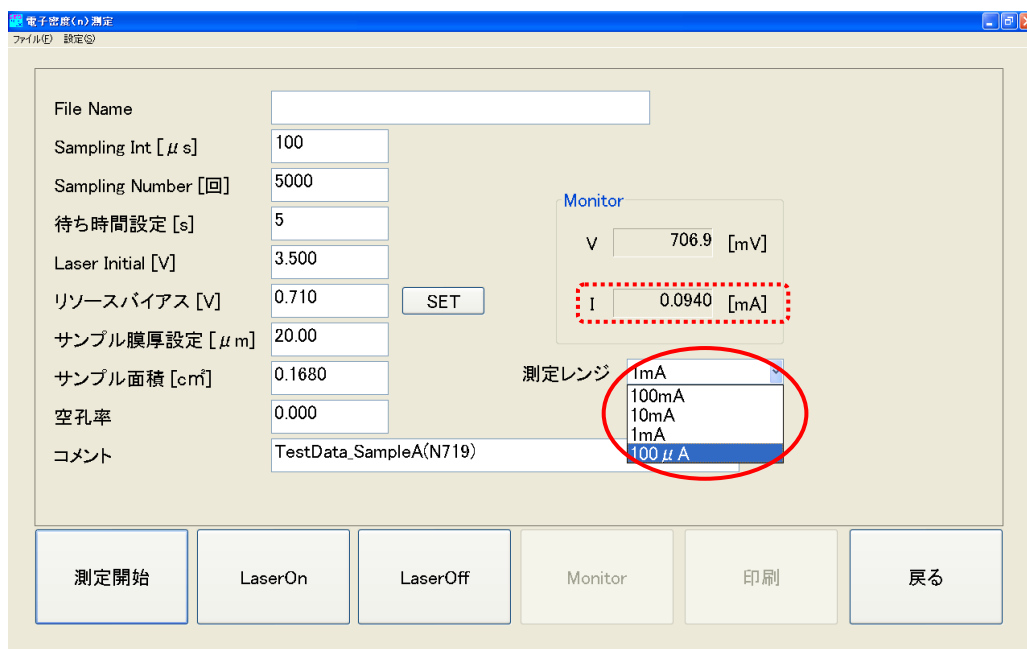



図 10-6-13. モニターモード 電流計測値と測定レンジ

このようにしてバイアス電位印加量を調節しながら電流値をモニターし、電流計測値が限りなく “0” に近づきましたらそのポイントが「仮想開放電圧状態」ですので、［測定開始］ボタンをクリックし「電子密度測定」を開始します。(図9-6-14)

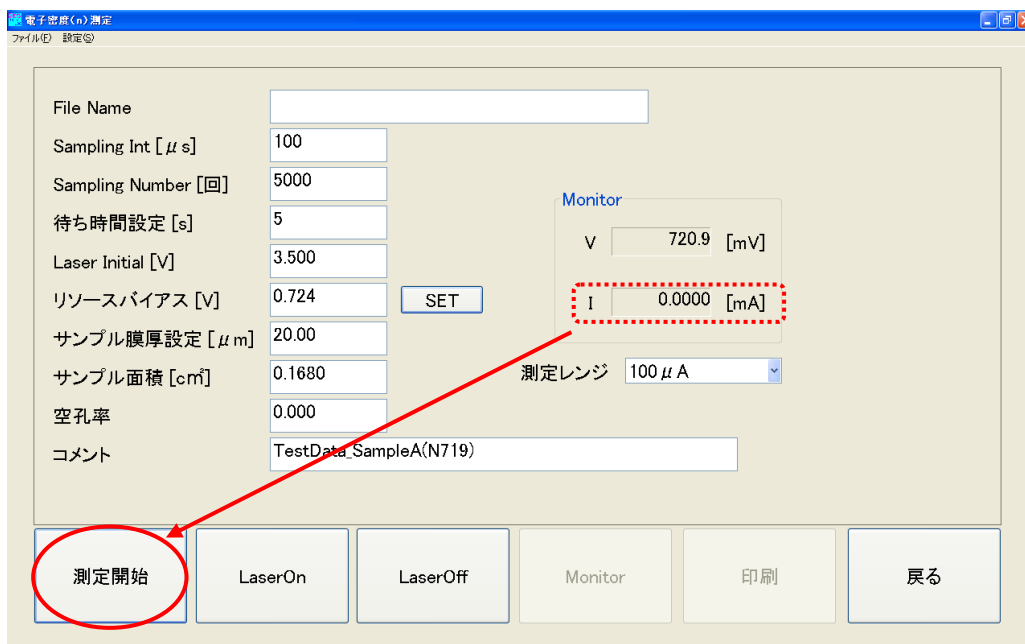



図 9-6-14. モニターモード 仮想開放電圧状態と電子密度測定開始

3. 測定中画面

『9-6. 電子密度(*n*)測定、2. モニターモード操作手順』により仮想開放電圧状態へ設定した後、[測定開始]ボタンをクリックしますと「電子密度測定」が開始され、次図(図9-6-15)のように「測定中画面」へと進みます。

測定を途中で強制終了させる場合には、「測定中画面」内にあります[中止]ボタンをクリックしますと測定は中止され、「設定画面」へと戻ります。

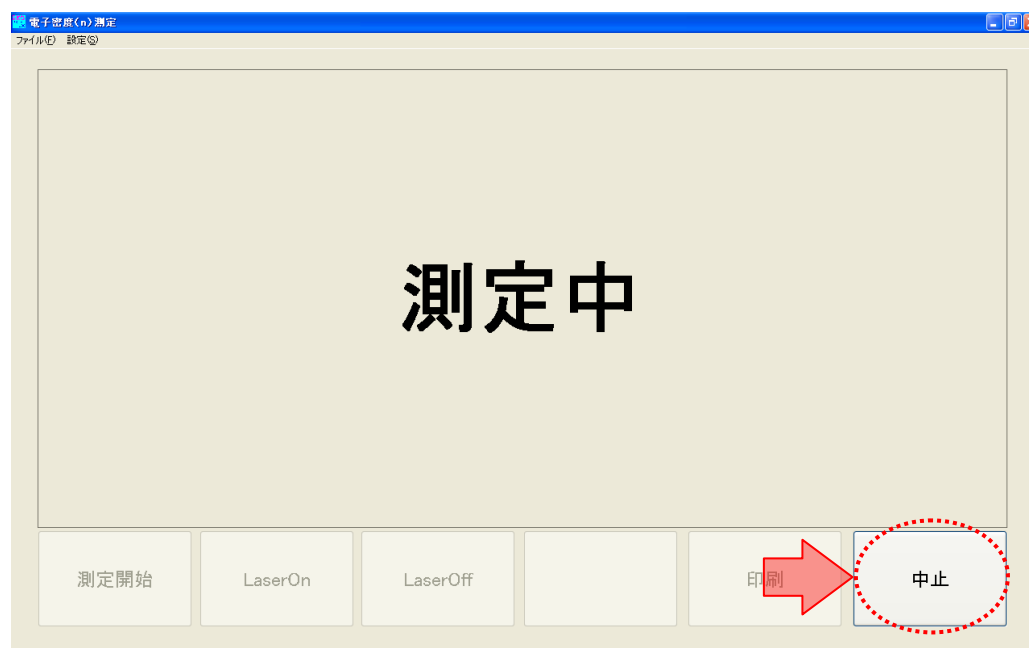



図 9-6-15. 電子密度測定　測定中画面

4. 測定結果画面

測定が終了しますと次図(図9-6-16)のように「測定結果画面」へと進みます。

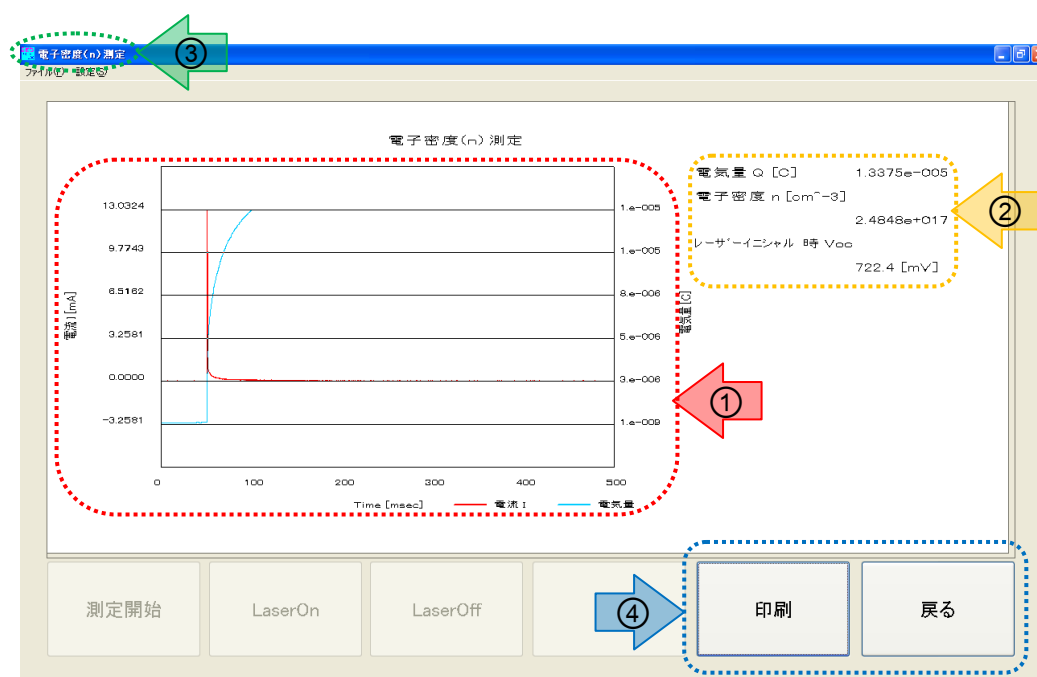



図 9-6-16. 電子密度測定　測定結果画面

① 測定結果－グラフ表示

「電子密度測定」結果を「時間－電流」のグラフとして描画します。

又、測定結果である「電流過渡応答波形(赤線)」を時間積分した「電気量(青線)」を重ね描きします。

② 測定結果－数値データ表示

上記①の「測定結果グラフ」から得られる数値データを表示します。

電気量 Q [C]: 「電流過渡応答波形」を時間積分した最終値です。

電子密度 n [cm^{-3}]: 測定結果データを基に算出された値です。

レーザイニシャル時 V_{oc} [mV]: 電子密度測定を開始した時の「リソースバイアス」設定値です。
この値は「解析プロット図」を作成する際のデータとなります。

③ メニューバー

「電子密度測定　測定結果画面」には2つのメニュー項目があります。

それぞれの項目をクリックすることでメニュー内容を表示し、操作・選択を行います。

ファイル(F): ファイル操作を実行するための項目です。
メニュー内容は以下となります。
［開く(O)］: 過去に測定したデータファイル(.parファイル)を呼び出します。
［保存(S)］: 表示されている測定結果をデータファイル形式(.parファイル)で保存します。
［戻る(C)］ 「測定結果画面」を終了し「設定画面」へ戻ります。

設定(S): 設定操作を実行するための項目です。
メニュー内容は［積分範囲］となり、「電流過渡応答波形」を時間積分する際の開始点と終了点を設定する子画面を呼び出します。

④ 操作ボタン

「電子密度測定　測定結果画面」には2つの操作ボタンがあります。

ボタンをクリックして各操作を行います。

印刷: PCにプリンターが接続されている場合、本ボタンをクリックすることにより「測定結果画面」のグラフ表示部および、数値データ表示部をプリントアウトすることができます。

戻る: 「測定結果画面」を終了し「設定画面」へ戻ります。

5. 積分範囲指定

SLIM-PCV法による「電子密度(n)」の導出は、測定により得られた「電流過渡応答波形」に対して時間積分を行い、電気量 “Q [C]” を求める必要があります。

グラフ内の赤線による表示が測定により得られた「電流過渡応答波形」、青線による表示が「電流過渡応答波形」を時間積分することで算出した「電気量Q」となります。

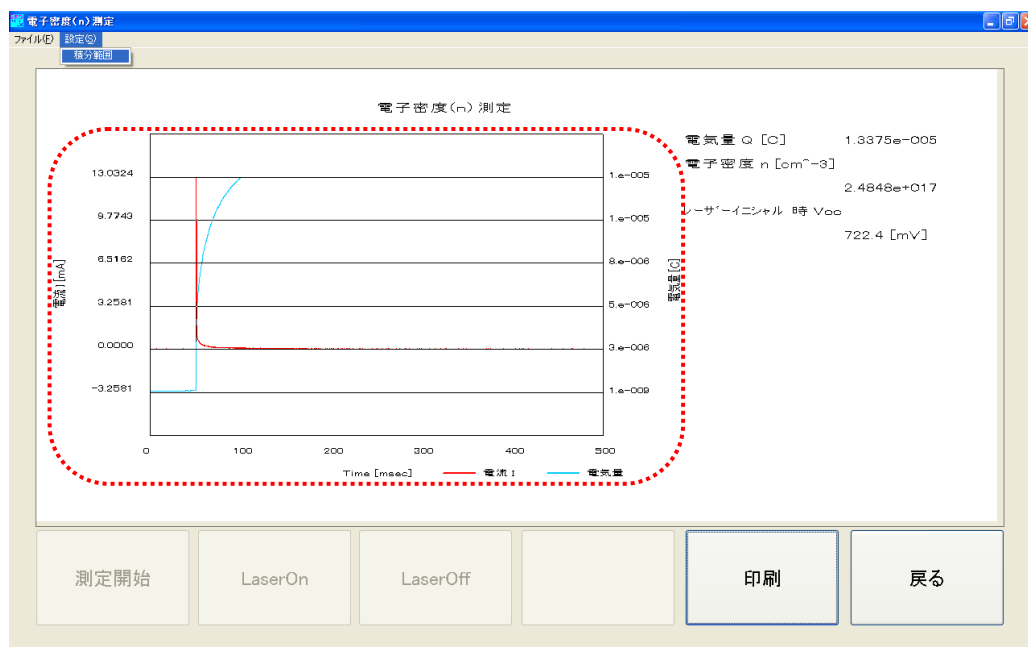



図 9-6-17. 電子密度測定 測定結果グラフ表示

上図(図9-6-17)では、過渡応答波形(赤線)への時間積分(青線)が測定時間の一部分となっております。

より正確な「電気量:Q [C]」を算出するためには、この時間積分(青線)の区間を「電流過渡応答」が始まる直近のポイントから完全に収束するポイントへ修正する必要があります。

この時間積分ポイントの修正を行うため、「測定結果画面」のメニューバー[設定(S)]→[積分範囲]を選択し、「積分範囲の設定」子画面(図9-6-18)を起動させます。

この「積分範囲の設定」子画面内、[開始]および[終了]の設定値を変更することで、「時間積分」操作を行います。

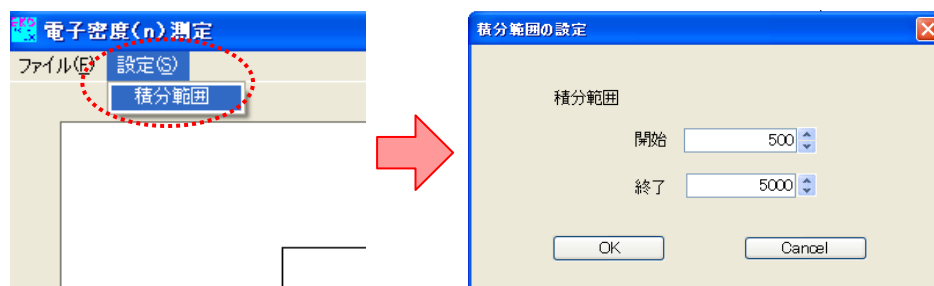
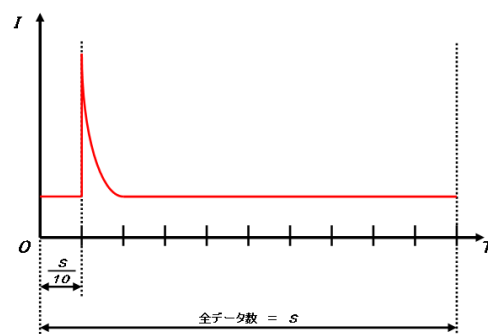



図 9-6-18. 積分範囲の設定

PSL-100ソフトウェアの「電子密度(*n*)測定」結果グラフ表示では、「電流過渡応答波形」ピークのポイントを適切に捉えるため、このポイントが全データ数の10%目となるようデータサンプリングを行っています。(図9-6-19)

ここで、全データ数とは「設定画面」内の［Sampling Number］設定値を指します。

上記の例では、全データ数を「5000点」としていますので、その10%である「500点」を時間積分範囲開始の目安とします。

図 9-6-19. 過渡応答波形のピークポイント

尚、積分範囲の終了点は全データ数と同じ値を設定します。

測定結果画面(図9-6-7)の「時間積分範囲」を［開始：500］、［終了：5000］と設定し、再描画させたグラフを次図(図9-6-20)に示します。

「電流過渡応答波形(赤線)」に対する「時間積分(青線)」が最適となっています。
又、「測定結果画面内」の数値データ部も積分範囲の修正により更新されていることがわかります。

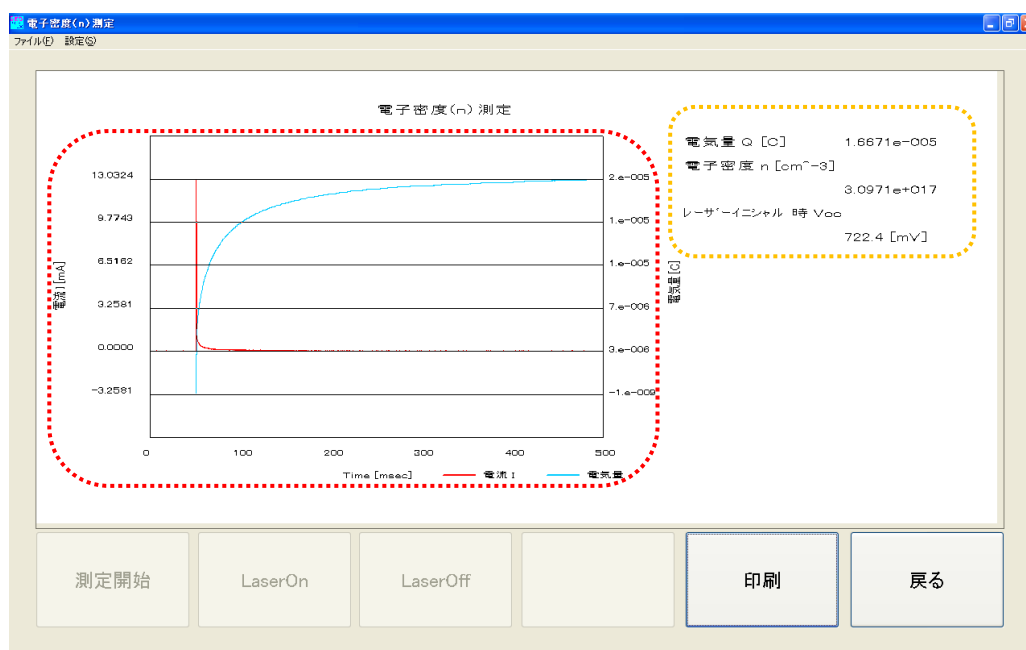



図 9-6-20. 電子密度測定　積分範囲最適化グラフ

6. データ保存

測定結果データを保存するには、「測定結果画面」のメニューバー[ファイル(F)]→[保存(S)]を選択し、「名前を付けて保存」子画面を起動させます。(図9-6-21)

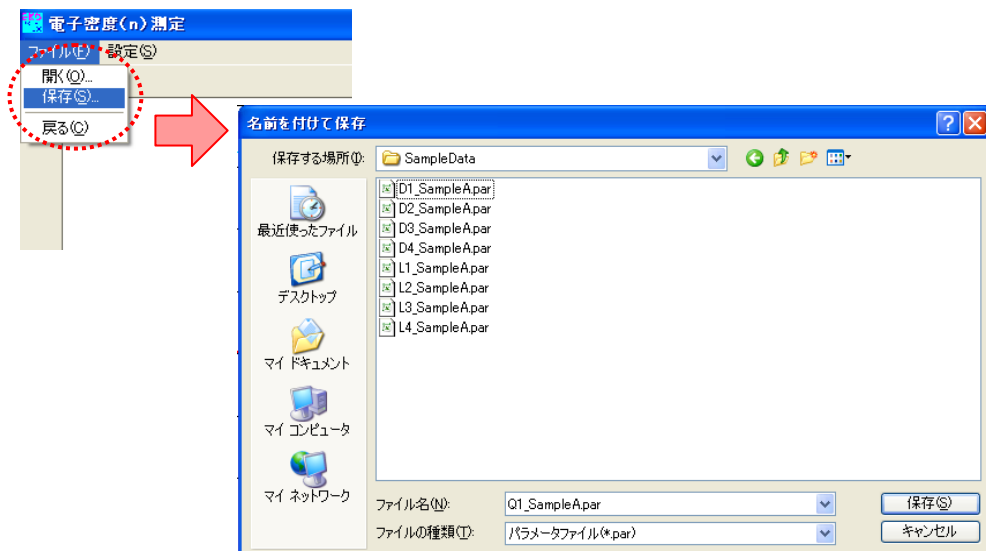



図 9-6-21. データ保存

「名前を付けて保存」子画面内[ファイルの場所(I)]には、『9-2. 測定データフォルダーの作成』で作成したフォルダーを指定します。

SLIM-PCV法では、測定に使用するサンプルセルの「光強度依存」傾向を考察するため、異なるレーザ光強度における「電子密度測定」を4回～8回行います。

これらの測定データを効率よく整理するため、PSL-100ソフトウェアでは次のような「ファイル名」のルールを定めています。

電子密度の測定データは

＜Q1_XXX.par＞、＜Q2_XXX.par＞、・・・・

のように必ず“Q”から始まる3文字のヘッダを付記します。(図9-6-22)

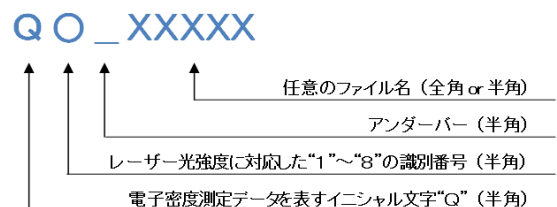



図 9-6-22. 電子密度 データファイル名ルール

1文字目: “Q”は電子密度の測定データであることを意味します。

2文字目: レーザ光強度初期値の強弱順に “1” ～ “8” までの数字が入ります。

3文字目: アンダーバーを入れ、この後に任意のファイル名を付けます。

又、測定データファイルの拡張子は“.par”で、これはカンマ区切りのテキストファイル形式となります。

このルールによる「ファイル名」を「名前を付けて保存」子画面内[ファイル名(N)]欄に入力し、[保存(S)]ボタンをクリックします。

7. データ読み込み

PSL-100ソフトウェアでは過去に測定した「測定結果データ」を読み込み、「測定結果画面」を再現することができます。「電子密度測定　設定画面(図9-6-7)」又は「電子密度測定　測定結果画面(図9-6-16)」画面のメニューバーから[ファイル(F)]→[開く(O)]と選択し、「ファイルを開く」子画面を起動させます。(図9-6-23)

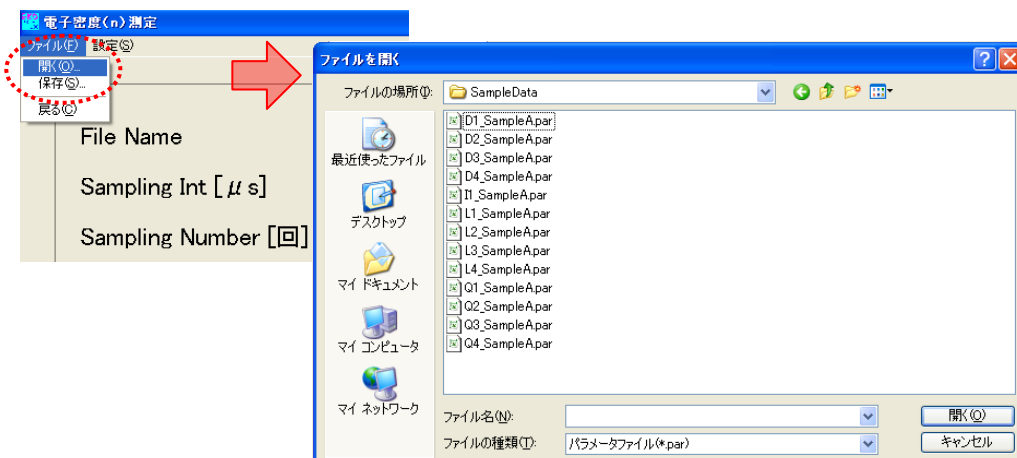



図 9-6-23. データ読み込み

「ファイルを開く」子画面内から、読み込みを行いたい電子密度測定結果データ“Q$_xxx.par”ファイルを指定し、[開く(O)]ボタンをクリックします。

ここで、「電子密度測定」以外の測定結果データを指定しますと、次図(図9-6-24)のような「エラー画面」が表示されますので、操作をやり直してください。

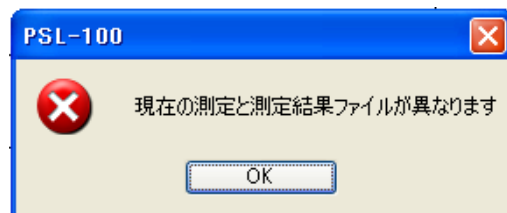



図 9-6-24. ファイル読み込みエラー画面

正しくファイル名を指定しますと、次図(図9-6-25)のように過去に測定した電子密度測定の結果画面が表示されます。(このファイルを保存した時の「積分範囲結果」も再現されます。)

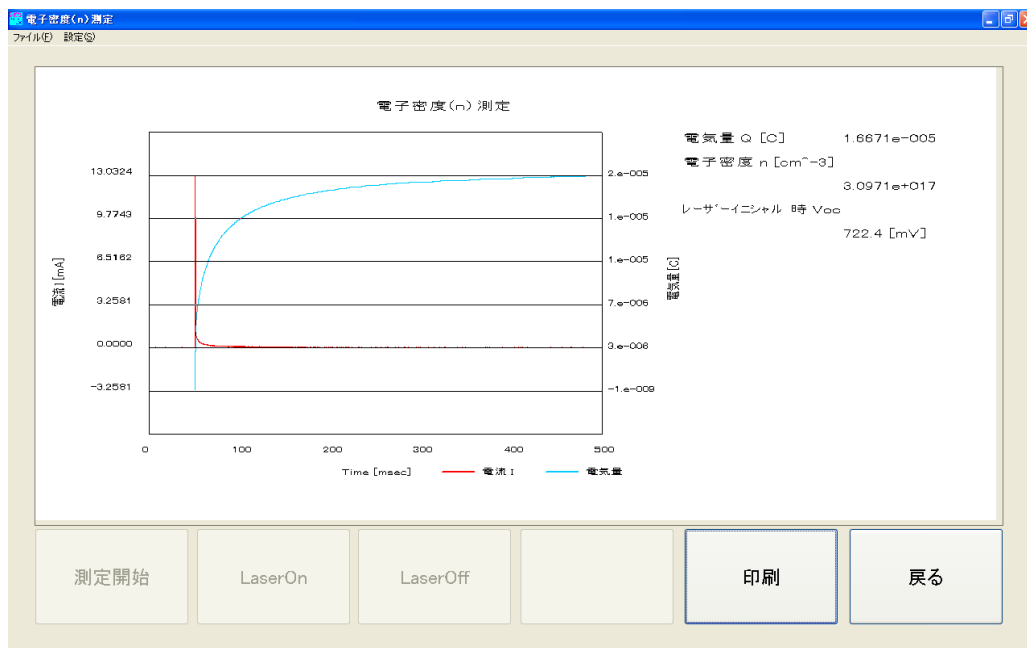



図 9-6-25. 測定結果データの読み込み完了

又、この画面から[戻る]ボタンをクリックしますと、測定条件を確認することができます。

8. 測定に関して

SLIM-PCV法による電子密度の測定では、光照射下で仮想的に開放電圧状態へと設定された色素増感太陽電池サンプルセル内部に蓄えられた電荷を「電流過渡応答」波形として計測しますが、この「過渡応答」を正確に捉えるためにはいくつかの注意が必要となります。

この「過渡応答」は非常に速い物理現象ですので、測定時の「サンプリング間隔(Sampling Int)」の設定も速くする必要があります。

右図(図9-6-26)の例では、同じ「過渡応答反応」を「速い」サンプリング間隔で計測した場合と、「遅い」サンプリング間隔で計測した場合の比較を表しています。

電子密度の測定では、電流過渡応答波形を時間積分することで「電気量:Q」を求めます。
これは、図中の「青」および「赤」の面積に相当します。

この例からも明らかなように、「サンプリング間隔」を速くするほど実際の波形面積に近づきます。

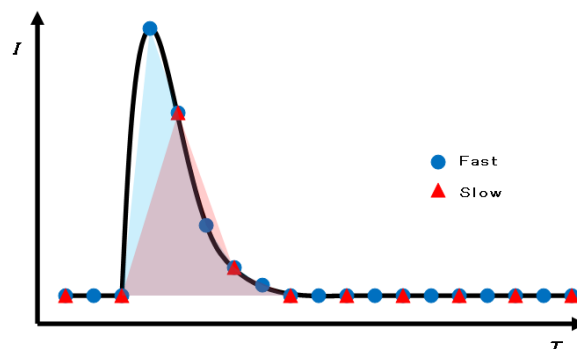



図 9-6-26. サンプリング間隔による違い

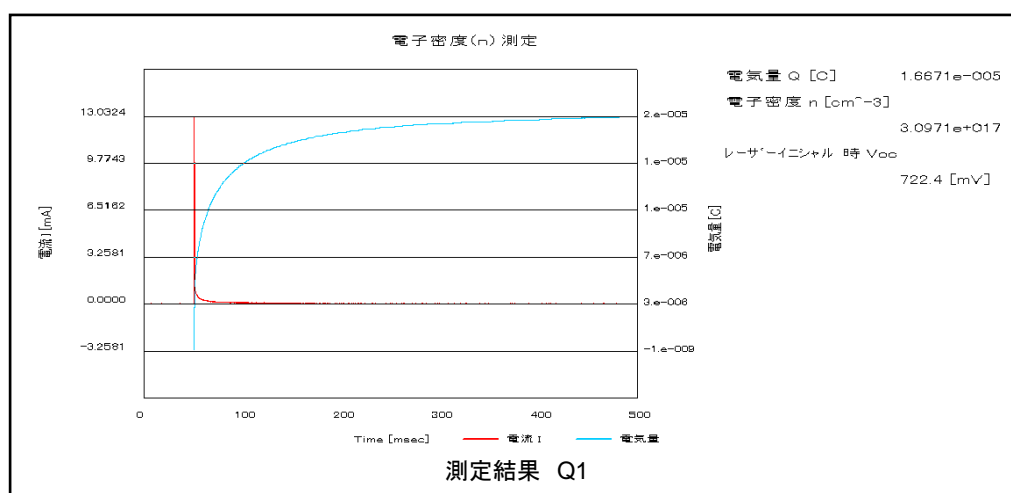
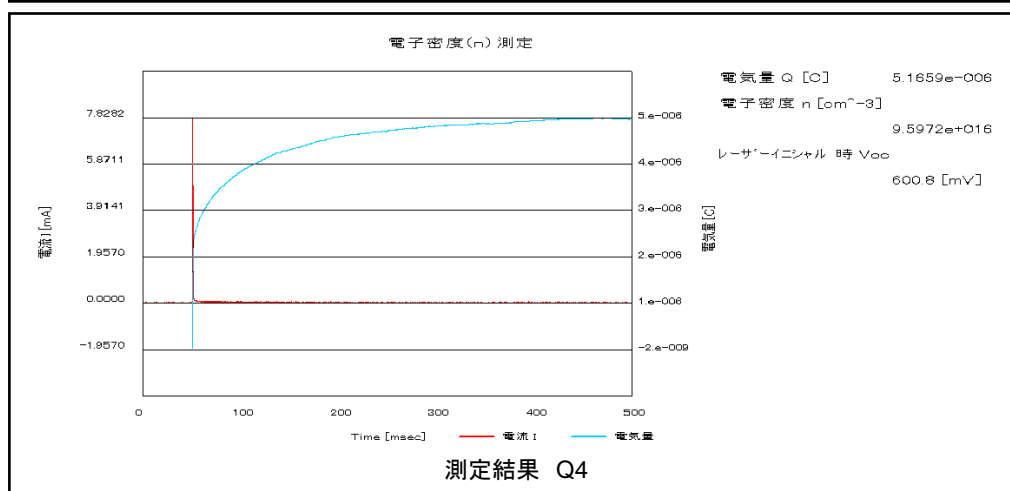
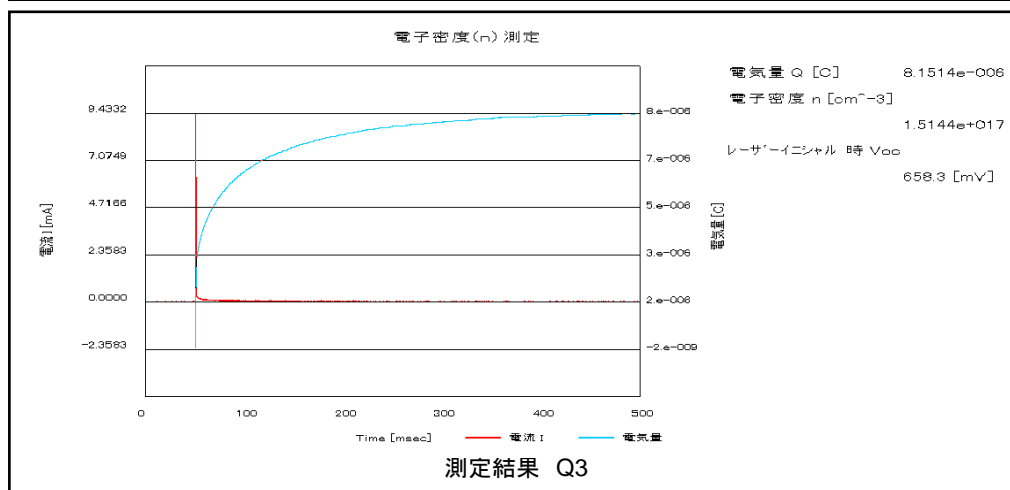
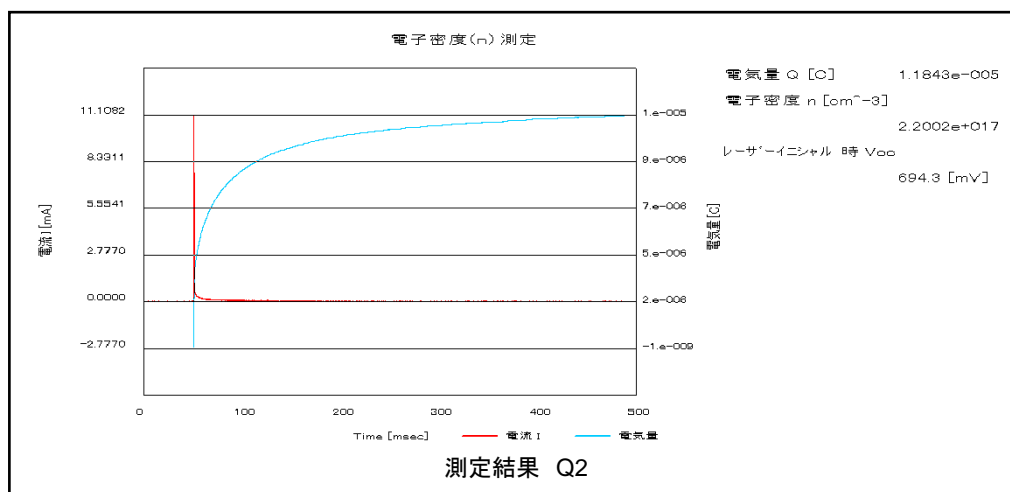
電子密度測定の過渡応答波形を正確に捉えるため、経験的に「サンプリング間隔(Sampling Int)」の設定値を“100[μs]”以下として測定することをお勧めします。
又、応答波形の「収束」を確実にするため、「測定点数(Sampling Number)」の設定値も長めの“4000～5000[回]”程度に設定することをお勧めします。

参考として、色素増感太陽電池サンプルセルの「電子密度測定」測定結果例を以下に示します。

測定結果 Q1

測定結果 Q2

測定結果 Q3

測定結果 Q4

＜測定条件＞

No.	Laser Ini	Sampling Int×Number
Q1	3.500 [V]	100 [μs]×5000 [回]
Q2	2.100 [V]	100 [μs]×5000 [回]
Q3	1.300 [V]	100 [μs]×5000 [回]
Q4	0.800 [V]	100 [μs]×5000 [回]

膜厚：20.0 [μm]、面積：0.168 [cm^2]、N719、TiO_2サンプルセルを使用

9-7. I-V カーブ測定

SLIM-PCV法による測定・解析と直接の関係はありませんが、本装置にはレーザ光による「I-Vカーブ」測定機能が搭載されています。

測定に用いる色素増感太陽電池サンプルセルの「劣化度」を調べる時などにご使用ください。

I-Vカーブの測定は以下の手順により行われます。

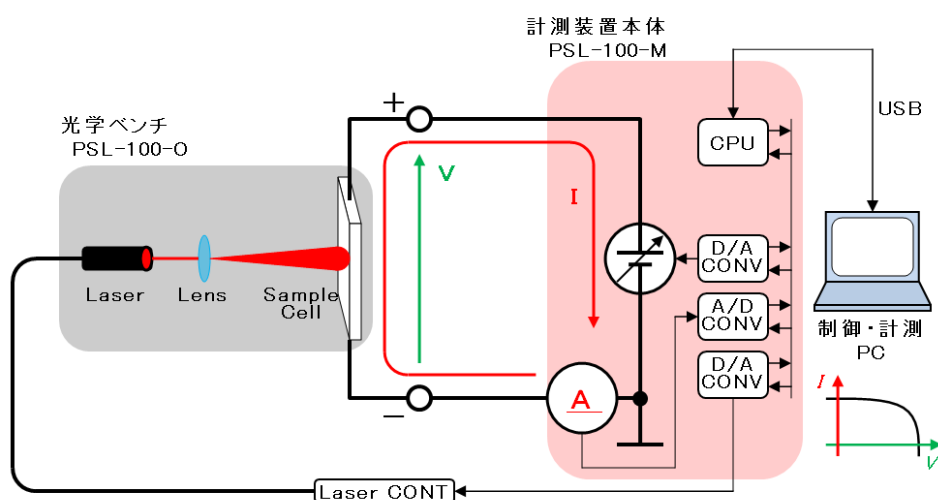



図 9-7-1. I-V カーブ測定 測定概要

1. 光学ベンチ(PSL-100-O)内にセットされた色素増感太陽電池のサンプルセル受光面に対し、光源であるレーザから光を照射します。
2. サンプルセルの光励起が十分に安定したところで「リソースバイアス電源」を用い、セルの出力両端へバイアス電位を印加します。
3. サンプルセルへのバイアス電位印加量を一定の速度でスイープ(掃引)します。
4. 計測装置本体(PSL-100-M)はこの一連の操作に対する制御および計測を行い、「バイアス電位の印加量変化」に対するセル出力電流を計測します。
5. 計測されたデータは計測PCへと送られ、PSL-100ソフトウェア画面上に「I-Vカーブ波形」を表示します。

1. 設定画面

PSL-100ソフトウェアを起動し「PSL-100 メイン画面(図9-1-8)」上の[I-Vカーブ測定]ボタンをクリックしますと、次図(図9-7-2)のように「I-Vカーブ測定 設定画面」へと進みます。

図 9-7-2. I-V カーブ測定 設定画面

この「設定画面」にあります各項目を入力し、[測定開始]ボタンをクリックしますと「I-Vカーブ測定」を実行します。

① メニューバー

「I-Vカーブ測定 設定画面」には2つのメニュー項目があります。

それぞれの項目をクリックすることでメニュー内容を表示し、操作・選択を行います。

ファイル(F): ファイル操作を実行するための項目です。

メニュー内容は以下となります。

[開く(O)] : 過去に測定したデータファイル(.parファイル)を呼び出します。

[保存(S)] : 画面内に記入されている設定パラメータをデータファイル形式(.par)で保存します。

[戻る(C)]: 「設定画面」を終了し「メイン画面」へ戻ります。

設定(S) 設定操作を実行するための項目です。

本メニューには操作可能な項目がありません。

② パラメータ入力・表示

「I-Vカーブ測定 設定画面」には11のパラメータ入力・表示欄があります。

それぞれの欄をクリックし入力操作を行います。

File Name: データファイル名(.parファイル)の表示欄です。

過去に測定したデータファイルを呼び出した際、そのファイル名を表示します。

Sampling Number (回): 測定のサンプリング回数を設定する入力欄です。

(測定必須パラメータ) 本欄で設定した回数、測定データをサンプリングします。

単位: [回]、半角数字により入力します。

設定可能範囲: 1 [回] ～ 9999 [回]

設定分解能: 1 [回]

掃引時間設定 (s): (測定必須パラメータ)
: I-Vカーブ測定の電圧掃引時間を設定する入力欄です。
後述、[掃引開始電圧(mV)]設定値から[掃引終了電圧(mV)]までの電圧幅を、本欄で設定した時間で掃引します。

単位: [s]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲: 0 [s] ～ 99 [s]
設定分解能: 1 [s]

待ち時間設定 (s): (測定必須パラメータ)
: サンプルセルの受光面に対しレーザ光を照射した際、光励起が安定するまでの照射時間(待ち時間)を設定する欄です。

単位: [s]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲: 0 [s] ～ 3600 [s]
設定分解能: 1 [s]

Laser Initial (V): (測定必須パラメータ)
: 測定時、サンプルセル受光面へ照射するレーザ光の光強度初期値を入力する欄です。

単位: [V]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲: 0.100 [V] ～ 4.000 [V]
設定分解能: 0.001 [V]

掃引開始電圧 (mV) (測定必須パラメータ)
: I-Vカーブ測定の電圧掃引開始電圧を設定する入力欄です。

単位: [mV、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲: -300 [mV] ～ 1200 [mV]
設定分解能: 0.1 [mV]

掃引終了電圧 (mV) (測定必須パラメータ)
: I-Vカーブ測定の電圧掃引終了電圧を設定する入力欄です。
必ず、"掃引開始電圧≠掃引終了電圧"となるような値を入力します。

単位: [mV、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲: -300 [mV] ～ 1200 [mV]
設定分解能: 0.1 [mV]

サンプル膜厚設定 (μm):
: 測定に用いるサンプルセルの半導体電極膜厚値を入力する欄です。

単位: [μm]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲: 0.01 [μm] ～ 99.99 [μm]
設定分解能: 0.01 [μm]

サンプル面積 (cm^2):
: 測定に用いるサンプルセルの受光面積値を入力する欄です。

単位: [cm^2]、半角数字により値を入力します。
設定可能範囲: 0.0001 [cm^2] ～ 16.0000 [cm^2]
設定分解能: 0.0001 [cm^2]

コメント:
: 測定に関するメモ書きや、サンプルセルの組成データなど任意のコメントが入力できます。
最大で全角64文字(半角128文字)まで入力可能です。

測定レンジ:
: 「モニターモード」でサンプルセルを仮想開放電圧へと設定する際、セルから出力される電流の計測レンジを設定する項目です。
プルダウンメニューにある4つの中から最適の電流計測レンジを選択します。
尚、空欄にしますと、自動的に[100mA]レンジが選択されます。

選択項目: 100mA/10mA/1mA/100μA

③ 操作ボタン

「I-Vカーブ測定　設定画面」には4つの操作ボタンがあります。

ボタンをクリックして各操作を行います。

測定開始:　上記②の「測定必須パラメータ」入力後、本ボタンをクリックすることで「I-Vカーブ」の測定を開始します。
「測定必須パラメータ」に未入力がある場合、本ボタンをクリックしても測定が開始されず、次図(図9-7-3)のような「エラーメッセージ」が現れますので修正を行ってください。

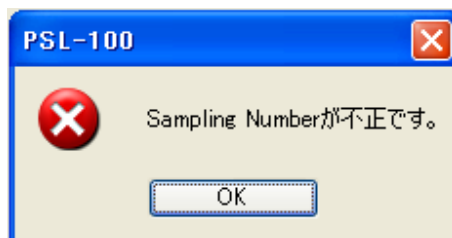



図 9-7-3. 測定開始時エラー例

Laser On:　光学ベンチ内の調整時など測定以外の状況でレーザ光を出力させる場合、本ボタンをクリックします。
本ボタンを押下した場合のレーザ光強度は、上記② [Laser Initial (V)] の入力値が反映されます。

Laser Off:　上記 [Laser On] 操作にて出力させたレーザ光を止める場合に本ボタンをクリックします。

戻る:　「設定画面」を終了し「メイン画面」へと戻る際、本ボタンをクリックします。

2. 測定中画面

「設定画面(図9-7-2)」内の「測定必須パラメータ」を入力した後、[測定開始]ボタンをクリックしますと「I-Vカーブ測定」が開始され、次図(図9-7-4)のように「測定中画面」へと進みます。

測定を途中で強制終了させる場合には、「測定中画面」内にあります[中止]ボタンをクリックしますと測定は中止され、「設定画面」へと戻ります。

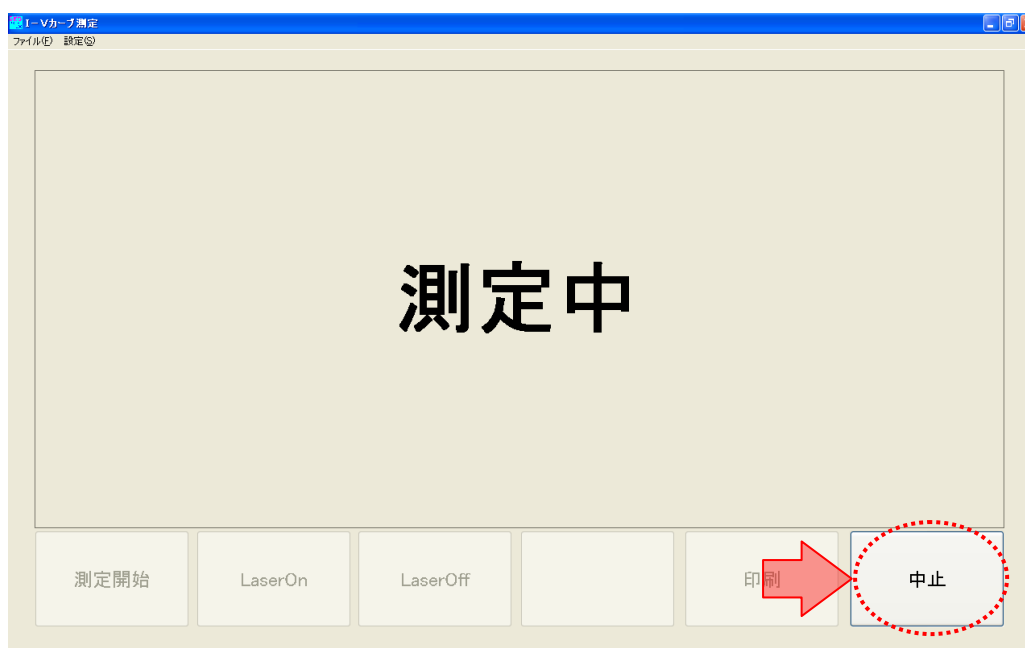



図 9-7-4. I-V カーブ測定　測定中画面

3. 測定結果画面

測定が終了しますと次図(図9-7-5)のように「測定結果画面」へと進みます。

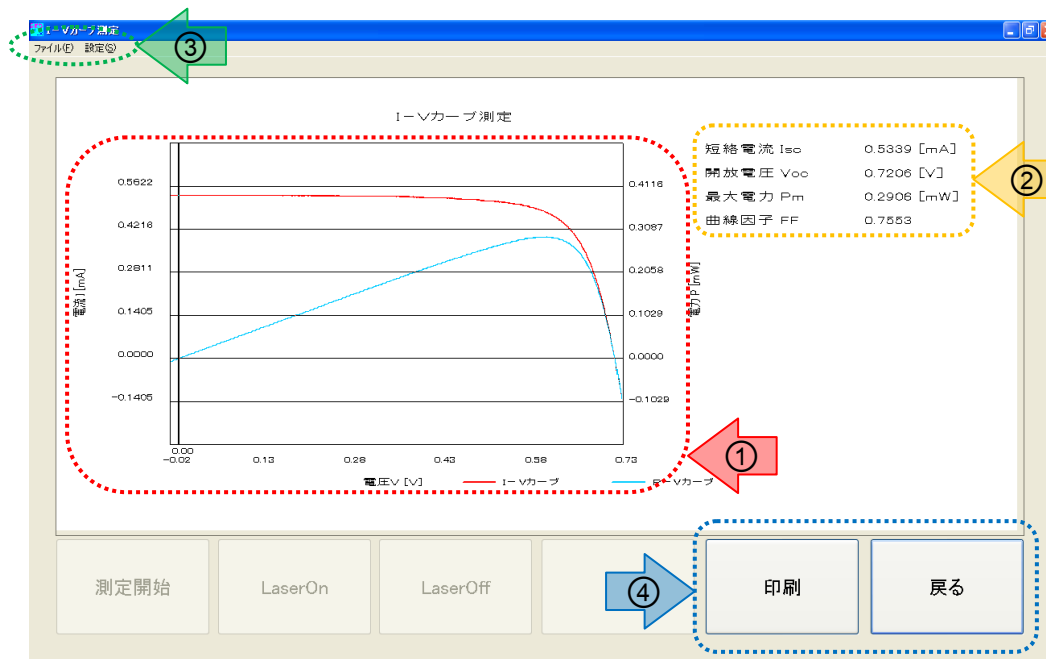



図 9-7-5. I-V カーブ測定　測定結果画面

① 測定結果－グラフ表示

「I-Vカーブ測定」結果を「電圧－電流」のグラフとして描画します。

又、測定結果である「I-Vカーブ(赤線)」から導出された「P-Vカーブ(青線)」を重ね描きします。

② 測定結果－数値データ表示

上記①の「測定結果グラフ」から得られる数値データを表示します。

短絡電流 I_{sc}:　「I-Vカーブ(赤線)」と電流軸の交点から導出された「短絡電流値」を表示します。

開放電圧 V_{oc}:　「I-Vカーブ(赤線)」と電圧軸の交点から導出された「開放電圧値」を表示します。

最大電力 P_m:　「P-Vカーブ(青線)」のデータから「電力」の最大値を求め、その値を表示します。

曲線因子 FF:　測定結果からサンプルセルの「曲線因子(フィル・ファクター)」を算出し、その値を表示します。

参考 ☞　$$FF(\text{曲線因子}) = \frac{P_m(\text{最大電力})}{V_{oc}(\text{開放電圧}) \times I_{sc}(\text{短絡電流})}$$

③ メニューバー

「I-Vカーブ測定　測定結果画面」には2つのメニュー項目があります。

それぞれの項目をクリックすることでメニュー内容を表示し、操作・選択を行います。

ファイル(F):　ファイル操作を実行するための項目です。

メニュー内容は以下となります。

[開く(O)]:　過去に測定したデータファイル(.parファイル)を呼び出します。

[保存(S)]:　表示されている測定結果をデータファイル形式(.parファイル)で保存します。

[戻る(C)]　「測定結果画面」を終了し「設定画面」へ戻ります。

設定(S):　設定操作を実行するための項目です。

本メニューには操作可能な項目がありません。

④ 操作ボタン

「I-Vカーブ測定　測定結果画面」には2つの操作ボタンがあります。

ボタンをクリックして各操作を行います。

印刷:　PCにプリンターが接続されている場合、本ボタンをクリックすることにより「測定結果画面」のグラフ表示部および、数値データ表示部をプリントアウトすることができます。

戻る:　「測定結果画面」を終了し「設定画面」へ戻ります。

4. データ保存

測定結果データを保存するには、「測定結果画面」のメニューバー[ファイル(F)]→[保存(S)]を選択し、「名前を付けて保存」子画面を起動させます。(図9-7-6)

任意のフォルダーを指定し、任意のファイル名で保存します。(拡張子は“.par”)

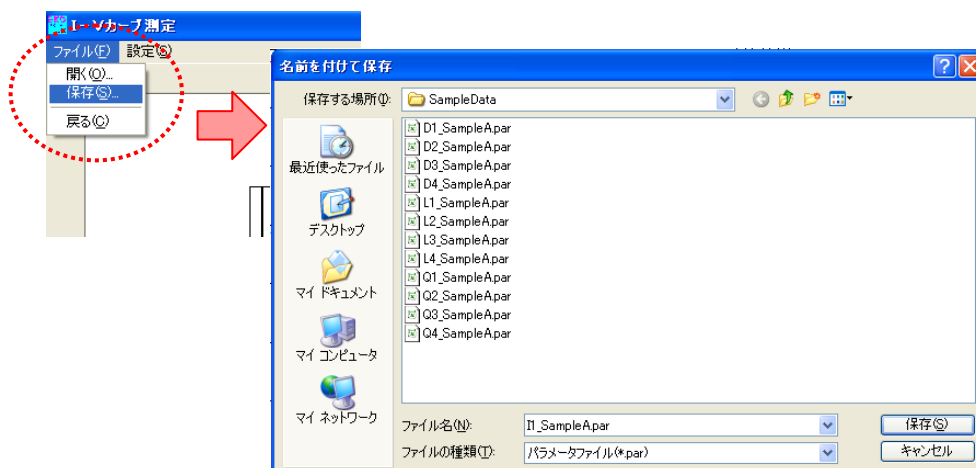



図 9-7-6. データ保存

他の測定データと異なり「I-Vカーブ」の測定データには「ファイル名」のルールはありませんが、測定データ管理の観点から『9-2. 測定データフォルダーの作成』で作成したフォルダーに保存することをお勧めします。

5. データ読み込み

PSL-100ソフトウェアでは過去に測定した「測定結果データ」を読み込み、「測定結果画面」を再現することができます。

「I-Vカーブ測定　設定画面(図9-7-2)」又は「I-Vカーブ測定　測定結果画面(図9-7-5)」画面のメニューバーから[ファイル(F)]→[開く(O)]と選択し、「ファイルを開く」子画面を起動させます。(図9-7-7)

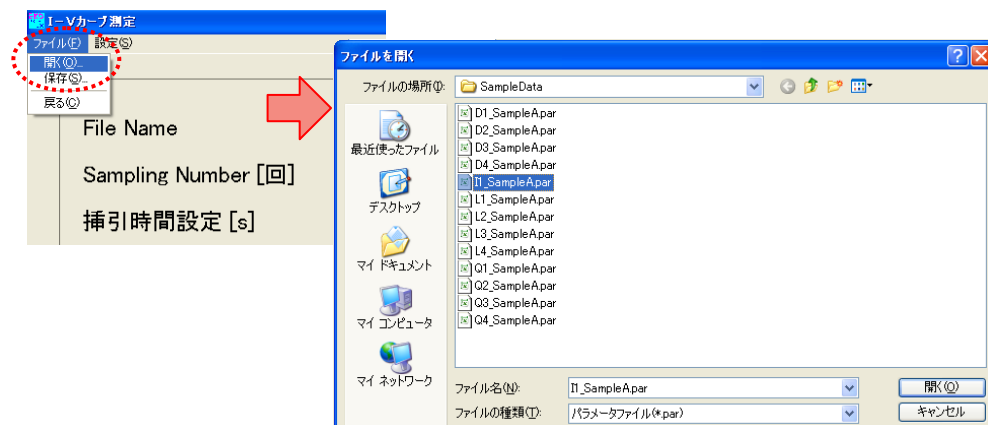



図 9-7-7. データ読み込み

「ファイルを開く」子画面内から、読み込みを行いたいI-Vカーブ測定結果データファイルを指定し、[開く(O)]ボタンをクリックします。

ここで、「I-Vカーブ測定」以外の測定結果データを指定しますと、次図(図9-7-8)のような「エラー画面」が表示されますので、操作をやり直してください。

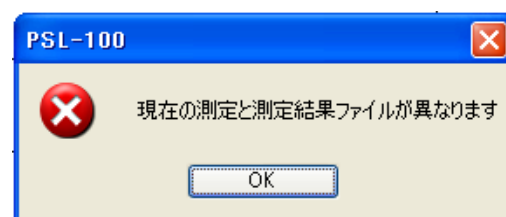



図 9-7-8. ファイル読み込みエラー画面

正しくファイル名を指定しますと、次図(図9-7-9)のように過去に測定したI-Vカーブ測定の結果画面が表示されます。(このファイルを保存した時の「フィッティング結果」も再現されます。)

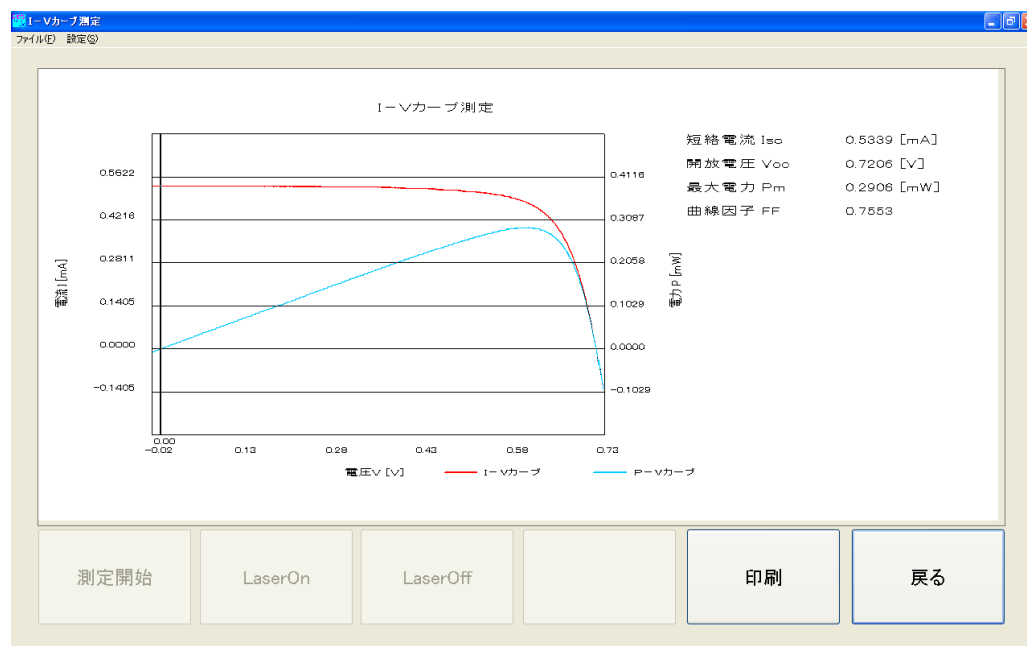



図 9-7-9. 測定結果データの読み込み完了

又、この画面から[戻る]ボタンをクリックしますと、測定条件を確認することができます。

10. データ解析とソフトウェア操作

色素増感太陽電池評価装置PSL-100には、各測定により得られたデータを基に「データテーブル」を作成し、色素増感太陽電池サンプルセルの評価に用いる「解析プロット図」を描画する機能があります。

ここでは、「データテーブル」の作成から「解析プロット図」の描画までのソフトウェア操作方法について説明します。

10-1. データ解析機能の基本操作

PSL-100ソフトウェアを起動し「メイン画面(図9-1-8)」左上にあります「メニューバー」から[解析]→[サンプル毎の解析]と選択しますと「データ解析機能」へと進み、次図(図10-1)のように「データ解析画面」が起動します。

図 10-1. データ解析機能の起動と終了

「データ解析機能」を終了する際には、画面右下にあります[終了]ボタンをクリックします。
又、画面右上にあります[閉じる]ボタンをクリックすることでも本機能を終了できます。

尚、本機能を終了しますと「メイン画面(図9-1-8)」へと戻ります。

10-2. データ解析画面

「データ解析画面」では、「測定結果データファイル」の読み込み操作、作成された「データテーブル」の保存、「解析プロット図」の描画などを行います。

尚、本画面上に読み込み可能な「測定結果データファイル」は、『9-2. 測定データフォルダーの作成』で作成したフォルダー内へ「ファイル名のルール」通りに保存されたデータファイルのみとなりますのでご注意ください。

図 10-2-1. データ解析画面

1. 測定データファイルの読み込み

PSL-100ソフトウェアにより測定されたサンプルセルの各「測定結果データファイル」を「データ解析画面」上に読み込みますと、画面中央に「データテーブル」というかたちで表示されます。(図10-2-1)

このファイル読み込み操作には「フォルダー」内に含まれる全ての「測定結果データファイル」を一括で読み込む方法と、「フォルダー」内にある任意の「測定結果データファイル」のみ読み込む方法があります。

(1) 「測定結果データファイル」一括読み込み

『9-2. 測定データフォルダーの作成』で作成したフォルダー内へ「ファイル名のルール」通りに保存された「電子拡散係数測定結果データファイル」、「電子寿命測定結果データファイル」、「電子密度測定結果データファイル」を一括で読み込む方法です。

「データ解析画面(図10-2-1)」下部にあります[測定データ結果選択]ボタンをクリックしますと、「フォルダーの参照」子画面が起動します。(図10-2-2)

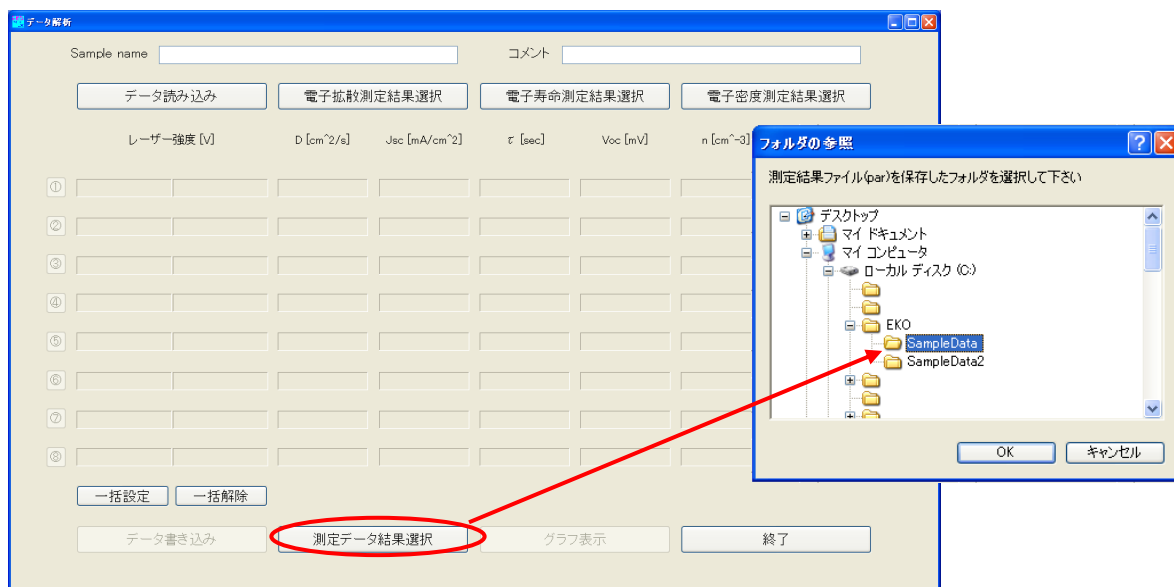



図 10-2-2. フォルダーの参照子画面

子画面内から読み込み対象となる「フォルダー」を選択し[OK]ボタンをクリックしますと、「フォルダー」内にある「測定結果データ」が「データテーブル」部に表示されます。(図10-2-3)

	レーザー強度 [V]		D [cm^2/s]	Jsc [mA/cm^2]	τ [sec]	Voc [mV]	n [cm^-3]	レーザーイニシャル時 Voc [mV]
①	3.500000	3.435000	1.46e-004	3.176113	0.014947	713.843788	3.1e+017	718.004789
②	2.100000	2.067000	9.08e-005	1.545756	0.025386	686.988018	2.2e+017	690.352403
③	1.300000	1.285000	5.92e-005	0.734048	0.046527	654.674250	1.4e+017	657.631833
④	0.800000	0.794000	3.49e-005	0.299321	0.078943	604.490412	9.1e+016	607.093347
⑤								
⑥								
⑦								
⑧								

図 10-2-3. 測定結果データの読み込み

尚、読み込み対象となる「フォルダー」内の「電子拡散係数測定」、「電子寿命測定」および「電子密度測定」の各「測定結果データファイル」数が異なりますと、正確なデータ表示がおこなわれませんのでご注意ください。

(2)　任意の「測定結果データファイル」のみ読み込み

『9-2. 測定データフォルダーの作成』で作成したフォルダー内へ「ファイル名のルール」通りに保存された「測定結果データファイル」のうち、任意の測定結果のみ読み込む方法です。

「データ解析画面(図10-2-1)」上部にあります[電子拡散係数測定結果選択]ボタンをクリックしますと、「フォルダーの参照」子画面が起動します。(図10-2-4)

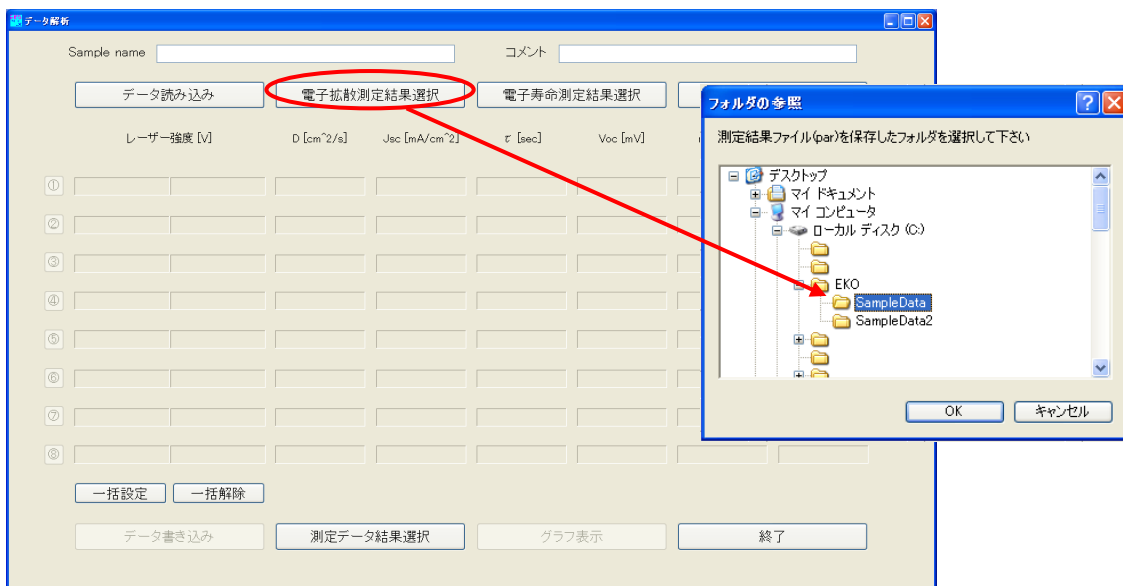



図 10-2-4. フォルダーの参照子画面

子画面内から読み込み対象となる「フォルダー」を選択し[OK]ボタンをクリックしますと、「フォルダー」内にある「電子拡散係数測定結果データ」のみが「データテーブル」部に表示されます。

図 10-2-5. 測定結果データの読み込み

同様に、「電子寿命測定結果データ」のみを読み込む場合には[電子寿命測定結果選択]ボタンを、「電子密度測定結果データ」のみを読み込む場合には[電子密度測定結果選択]ボタンをクリックし、「フォルダーの選択」子画面内から読み込み対象となる「フォルダー」を選択することで、それぞれのデータが表示されます。

2. データテーブル

『10-2. データ解析画面、1. 測定データファイルの読み込み』により読み込まれた各「測定結果データ」は、次図(図10-2-6)のような「データテーブル」となります。

	レーザー強度 [V]		D [cm^2/s]	Jsc [mA/cm^2]	τ [sec]	Voc [mV]	n [cm^-3]	レーザーイニシャル時 Voc [mV]
①	3.500000	3.435000	1.46e-004	3.176113	0.014947	713.843788	3.1e+017	718.004789
②	2.100000	2.067000	9.08e-005	1.545756	0.025386	686.988018	2.2e+017	690.352403
③	1.300000	1.285000	5.92e-005	0.734048	0.046527	654.674250	1.4e+017	657.631833
④	0.800000	0.794000	3.49e-005	0.299321	0.078943	604.490412	9.1e+016	607.093347
⑤								
⑥								
⑦								
⑧								

図 10-2-6. データテーブル

「データファイル名のルール」に従って保存された各「測定結果データファイル」から、「解析プロット図」の描画に必要なデータを自動抽出し「光強度」別にテーブルへと並べます。

本解析機能では、作成されたこの「データテーブル」を用いて「解析プロット図」を描画します。

3. データテーブルのファイル保存

「データテーブル」は、「カンマ区切りのテキストファイル」としてファイル保存することができます。
ファイル保存時には「サンプルセル名」や簡単な「メモ書き」を追記することもできます。

下図(図10-2-7)のように「測定結果データ」が読み込まれた状態で、必要に応じ画面上部の[Sample name]欄および[コメント]欄へ簡単なメモを入力します。(両入力欄とも、最大で半角128文字まで入力可能)

	レーザー強度 [V]		D [cm^2/s]	Jsc [mA/cm^2]	τ [sec]	Voc [mV]	n [cm^-3]	レーザーイニシャル時 Voc [mV]
①	3.500000	3.435000	1.46e-004	3.176113	0.014947	713.843788	3.1e+017	718.004789
②	2.100000	2.067000	9.08e-005	1.545756	0.025386	686.988018	2.2e+017	690.352403
③	1.300000	1.285000	5.92e-005	0.734048	0.046527	654.674250	1.4e+017	657.631833
④	0.800000	0.794000	3.49e-005	0.299321	0.078943	604.490412	9.1e+016	607.093347
⑤								
⑥								
⑦								
⑧								

図 10-2-7. データテーブルのファイル保存

記入が終了しましたら、画面左下にあります［データ書き込み］ボタンをクリックし、次図(図10-2-8)「名前を付けて保存」子画面を起動します。

フォルダーを指定し、任意のファイル名で保存します。(拡張子は“.par”)

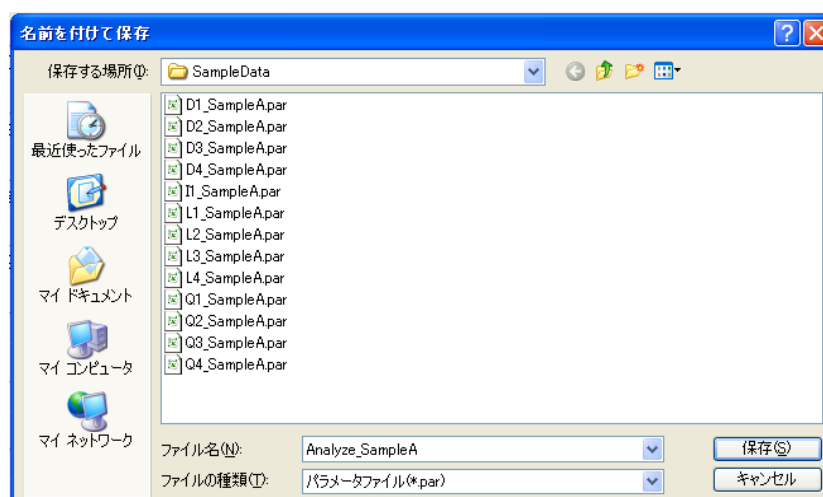



図 10-2-8. データ保存

「測定結果データファイル」と異なりこの「データ解析ファイル」には「ファイル名」のルールはありませんが、データ管理の観点から『9-2. 測定データフォルダーの作成』で作成したフォルダーに保存することをお勧めします。

10-3. 解析プロット図の描画

1. 描画用データの選択

「データ解析画面」により作成された「データテーブル」を用いて、「解析プロット図」を描画します。

この「解析プロット図」を描画するためには、作成した「データテーブル」からプロットするデータを選択設定する必要があります。

「データテーブル」上に並べられたデータ行の左端には、下図(図10-3-1)のように「光強度」毎の[番号]ボタンが付いています。

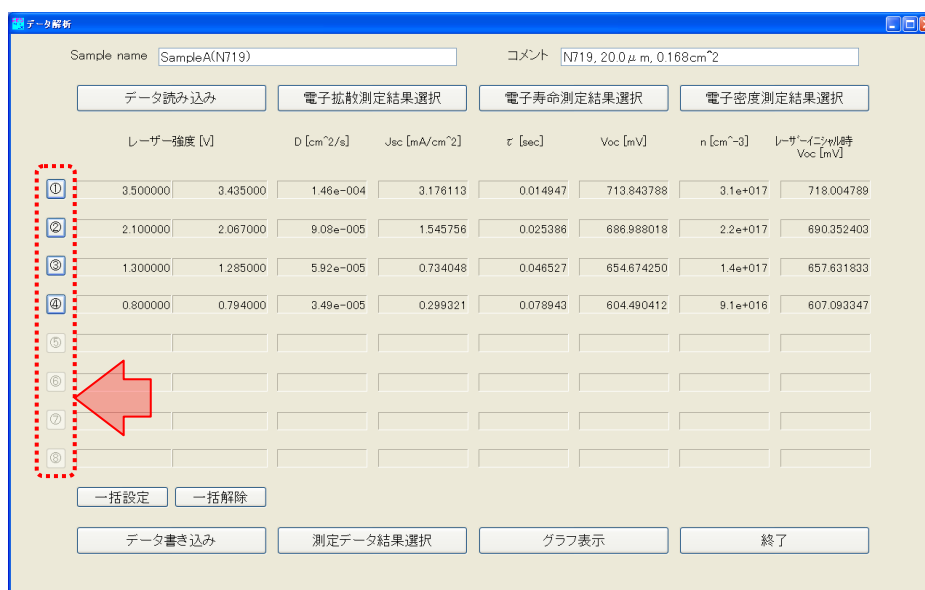



図 10-3-1. 解析プロット図　番号ボタン

この[番号ボタン]をクリックし選択状態とすることで、プロットするデータを設定します。(図10-3-2)
選択状態にある[番号ボタン]を再度クリックすることで、非選択状態へ戻すこともできます。

図 10-3-2. プロットデータの選択設定

尚、「データ解析画面」左下にあります[一括設定]ボタン、[一括解除]ボタンを用いても、プロットするデータの選択、非選択操作を行うことができます。(図10-3-3)

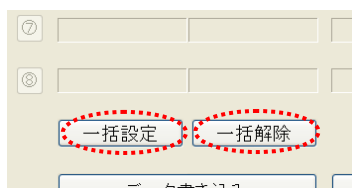



図 10-3-3. 一括設定/解除ボタ

2. 解析プロット図の描画

「データ解析画面」上でプロットするデータの選択設定ができましたら、画面下にあります[グラフ表示]ボタンをクリックします。(図10-3-4)

図 10-3-4. 解析プロット図　グラフ表示ボタン

画面が切り替わり、下図(図10-3-5)のように「解析プロット図画面」の1ページ目が表示されます。

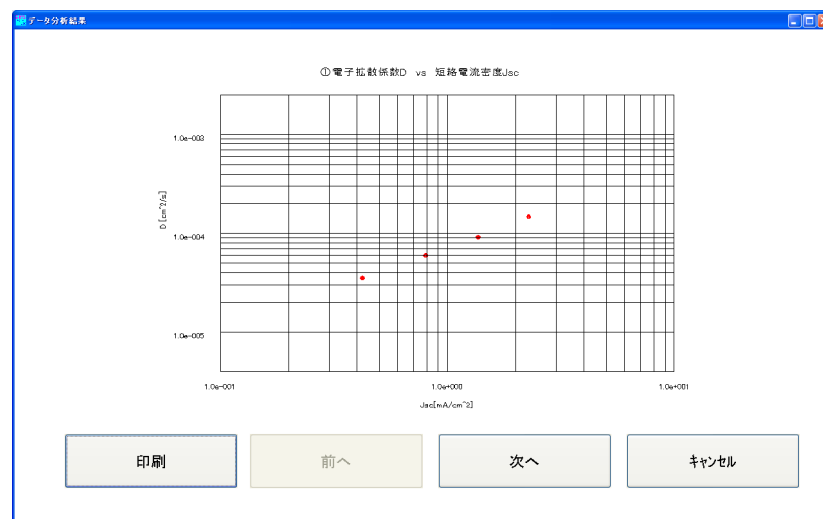



図 10-3-5. 解析プロット図

プロットするデータの選択設定がされていないまま[グラフ表示]ボタンをクリックしますと、下図(図10-3-6)のようなエラー画面が表示されますので修正を行ってください。

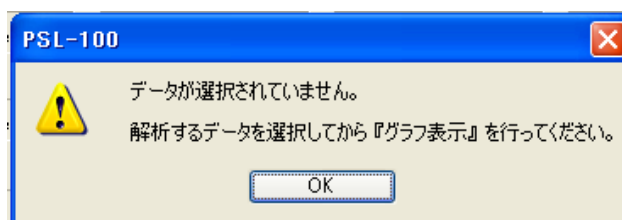



図 10-3-6. データ選択設定エラー画面

10-4. 解析プロット図画面

色素増感太陽電池サンプルセルの評価に用いる「解析プロット図」は次の4つとなります。

① 短絡電流密度 J_{sc} vs. 電子拡散係数 D
② 短絡電流密度 J_{sc} vs. 電子寿命 τ
③ 電子密度 n vs. 電子寿命 τ
④ 電子密度 n vs. 開放電圧 V_{oc}

本データ解析機能では、これら「解析プロット図」を個別に表示します。

1. 解析プロット図画面の操作

「データ解析画面」から[グラフ表示]ボタンをクリックしますと、次図(図10-4-1)のように「解析プロット図画面」の1ページ目である「短絡電流密度vs電子拡散係数」図が表示されます。

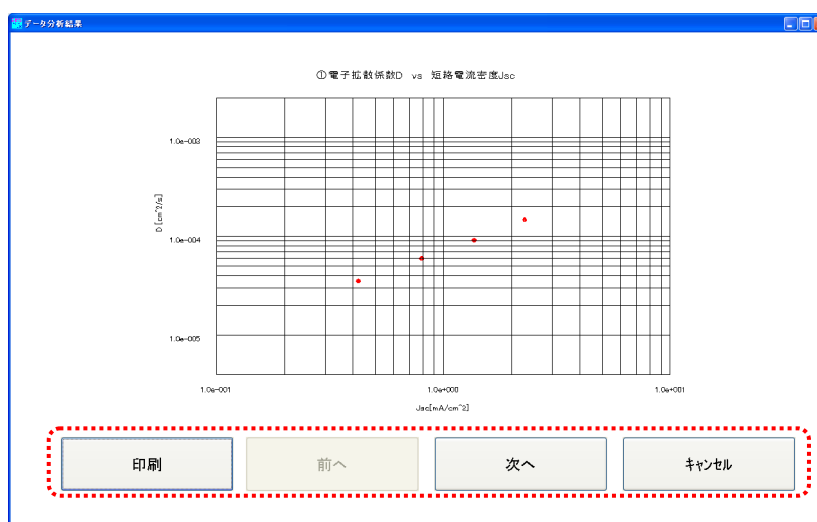



図 10-4-1. 解析プロット図

この「解析プロット図画面」には、4つの操作ボタンがあります。

印刷: PCにプリンターが接続されている場合、本ボタンをクリックすることにより画面表示されている「解析プロット図」を印刷することができます。

前へ/次へ: 本ボタンを使用し、4つの「解析プロット図画面」のページ切替を行います。

キャンセル: 本ボタンをクリックしますと「解析プロット図画面」を終了し、「データ解析画面」へと戻ります。

2. 解析プロット図

(1)　短絡電流密度 J_{sc}　vs.　電子拡散係数測定 D

作成された「データテーブル」から「短絡電流密度 J_{sc} [mA/cm^2] 」と「電子拡散係数 D [cm^2/s] 」のデータを抽出し、「光強度」毎にプロットします。(図10-4-2)

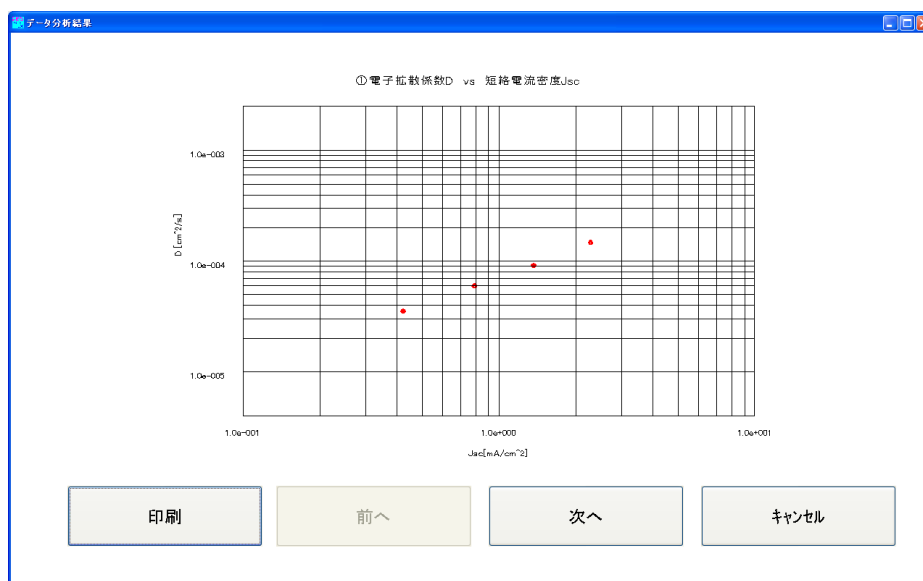



図 10-4-2. 短絡電流密度　vs　電子拡散係数

(2)　短絡電流密度 J_{sc}　vs.　電子寿命 τ

作成された「データテーブル」から「短絡電流密度 J_{sc} [mA/cm^2] 」と「電子寿命 τ [s] 」のデータを抽出し、「光強度」毎にプロットします。(図10-4-3)

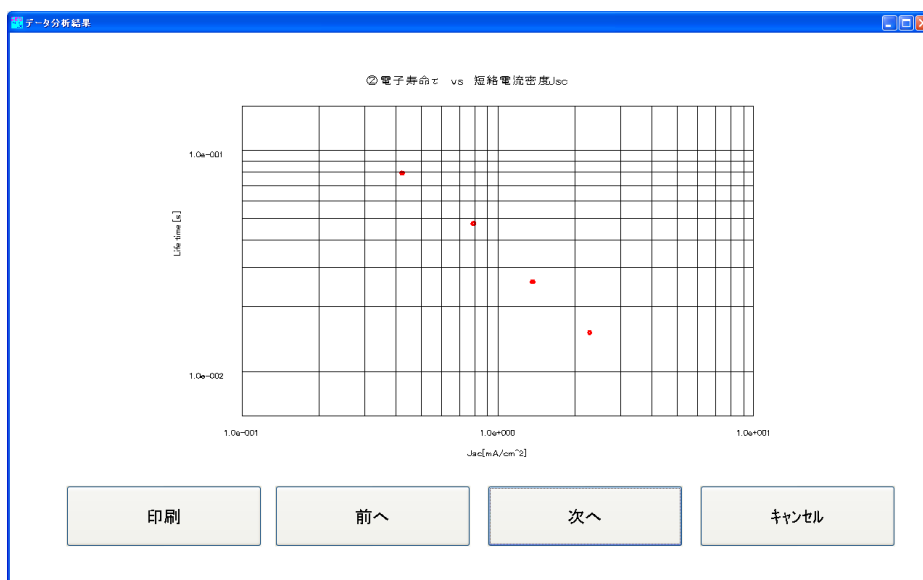



図 10-4-3. 短絡電流密度　vs　電子寿命

(3)　電子密度 n　vs.　電子寿命 τ

作成された「データテーブル」から「電子密度 n [cm^{-3}] 」と「電子寿命 τ [s] 」のデータを抽出し、「光強度」毎にプロットします。(図10-4-4)

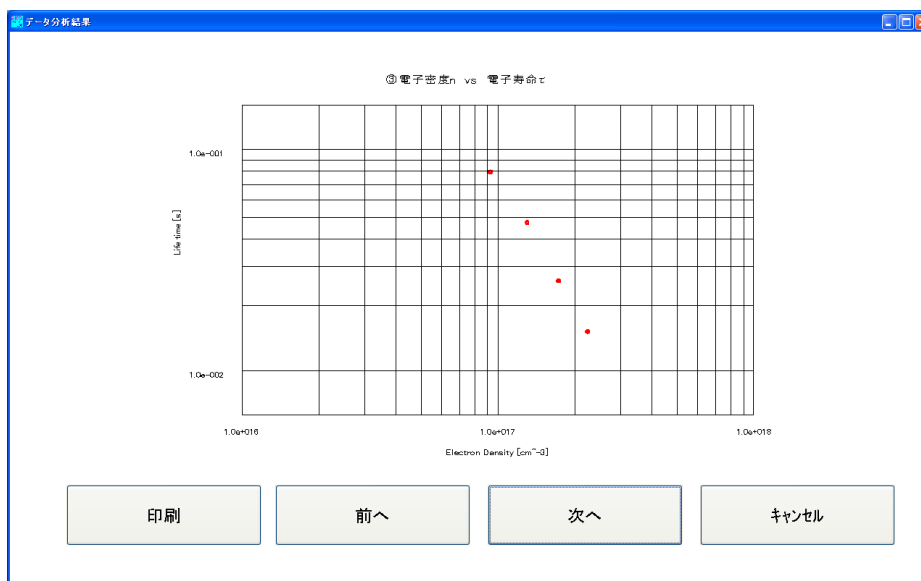



図 10-4-4. 電子密度　vs　電子寿命

(4)　電子密度 n　vs.　開放電圧 V_{oc}

作成された「データテーブル」から「電子密度 n [cm^{-3}] 」と「開放電圧 V_{oc} [mV] 」のデータを抽出し、「光強度」毎にプロットします。(図10-4-5)

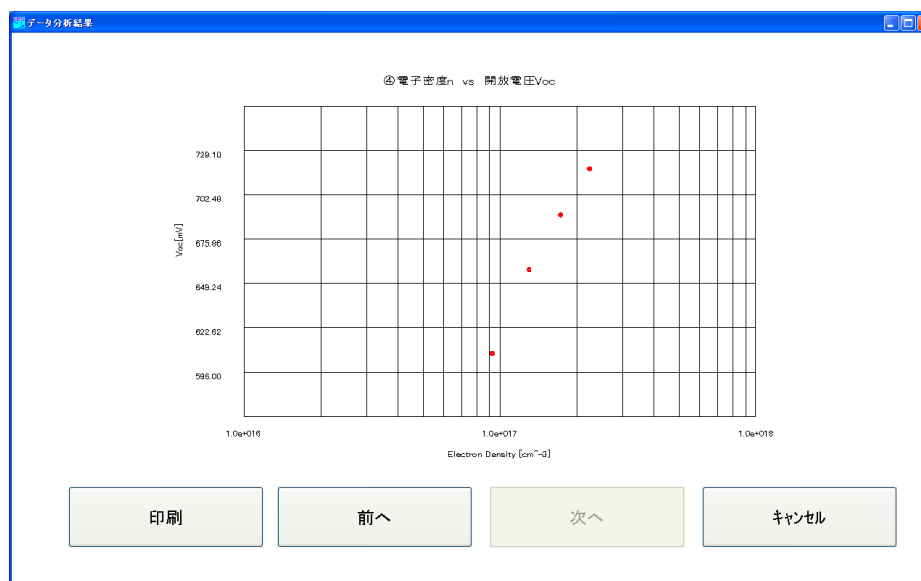



図 10-4-5. 電子密度　vs　開放電圧

11. データの利用

PSL-100ソフトウェアにより測定された「計測データファイル(.par)」および、解析機能により作成された「解析データファイル(.par)」は全て「カンマ(,)区切り」のテキストファイル形式となっております。

ここでは、このデータファイルを市販の「表計算ソフトウェア」あるいは「解析ソフトウェア」でご利用になられる場合の手順等について説明します。

11-1. 計測データファイル

1. データ呼び出しとデータ表

ご使用になる「表計算ソフトウェア」等を起動し、「計測データファイル(.par)」を「カンマ(,)区切りのデータ」として呼び出しますと、下図(図11-1-1)のようなデータ表が表示されます。

(A)　**設定に関するデータ領域**

データ表の1行目から14行目までは測定条件の設定に関するデータが並びます。

①列目は「データ識別文字」、②列目は「実データ」となります。

PSL-100ソフトウェア「設定画面」のデータです。

(B)　**測定結果から得られた数値データ領域**

データ表の15行目から21行目まで、27行目から31行目までは測定結果から得られた数値データが並びます。

①列目は「データ識別文字」、②列目は「実データ」となります。

PSL-100ソフトウェア「測定結果画面」の数値データです。

①	②	③	
E0	200		(A)1 行目～14 行目
E1	1000		
E2	3.5		
E3	3.45		
E4	10		
E5	C:¥EKO¥data¥D1_SampleA.par		
E6			
E7			
E8	2.7		
E9	0.16		
Ea			
Y0	0		
Y1	0		
S	0		
a0	5.94E-06		(B)15 行目～21 行目
a1	0.606026		
a2	0.004429		
a3			
a4	-0.01907		
a5			
a6	-0.01967		
b0	102		(C)22 行目～26 行目
b1	1000		
c0	0.595398		
c1	0.00992		
c2	20.4		
c3			(B)27 行目～31 行目
c4	0		
c5	0		
c6	0		
c7	0		
D	-0.01967	0.606026	(D)32 行目　以降
D	0.0301	0.606058	
D	-0.05752	0.606037	
D	0.041723	0.606068	
D	-0.03368	0.606009	

図 11-1-1. データ表

(C)　**測定結果グラフに関するデータ領域**

データ表の22行目から26行目までは測定結果グラフに関するデータが並びます。

①列目は「データ識別文字」、②列目は「実データ」となります。

PSL-100ソフトウェア「測定結果画面」のフィッティングに関する数値データです。

(D)　**実データ領域**

データ表の32行目以降が実際の「電圧計測データ」および「電流計測データ」が並びます。

①列目は「データ識別文字」、②列目は「電圧計測データ」、③列目は「電流計測データ」となります。

グラフを描画させる場合には、この32行目以降のデータを利用します。

このデータ表は、「電子拡散係数(D)測定」、「電子寿命(τ)測定」、「電子密度(n)測定」、「I-Vカーブ測定」の各計測データファイルごとに収録データ内容が異なります。

データ表の①列目「データ識別文字」と「データ内容」の対応表および、測定項目別の収録データ有無を次表(表11-1)に示します。

表 11-1. データ識別文字対応表

行	データ識別文字	対応データ		電子拡散係数測定	電子寿命測定	電子密度測定	I-Vカーブ測定
		内容	単位				
1	E0	サンプリング間隔	[μs]	○	○	○	○
2	E1	サンプリング回数	[回]	○	○	○	○
3	E2	レーザー強度設定　初期値	[V]	○	○	○	○
4	E3	レーザー強度設定　終期値	[V]	○	○	○	○
5	E4	待ち時間設定	[s]	○	○	○	○
6	E5	ファイル名		○	○	○	○
7	E6	(未使用)					
8	E7	コメント		○	○	○	○
9	E8	サンプル膜厚設定	[μm]	○	○	○	○
10	E9	サンプル面積	[cm^2]	○	○	○	○
11	Ea	空孔率				○	
12	Y0	掃引開始電圧	[V]				○
13	Y1	掃引終了電圧	[V]				○
14	S	掃引時間設定	[s]				○
15	a0	電子拡散係数　"D"	[cm^2/s]	○			
16	a1	短絡電流値　"Isc"	[mA]	○			
17	a2	電子拡散係数測定　"τ_c"	[s]	○			
18	a3	電子寿命 "τ"	[s]		○		
19	a4	電子寿命測定 開放電圧　"Voc"	[mV]		○		
20	a5	電子密度 "n"	[cm^-3]			○	
21	a6	電子密度測定　開放電圧　"Voc"	[mV]			○	
22	b0	フィッティング開始ポイント		○	○	△	
23	b1	フィッティング終了ポイント		○	○	△	
24	c0	フィッティング係数 "y0"		○	○		
25	c1	フィッティング係数 "A"		○	○		
26	c2	フィッティング係数 "x0"		○	○		
27	c3	電気量 "Q"	[Q]			○	
28	c4	I-Vカーブ測定　短絡電流"Isc"	[mA]				○
29	c5	I-Vカーブ測定　開放電圧"Voc"	[mV]				○
30	c6	I-Vカーブ測定　最大電力"Pm"	[mW]				○
31	c7	I-Vカーブ測定　曲線因子"FF"					○

2. データの操作

本計測データを「表計算ソフトウェア」等でグラフ描画させる場合には、ご自身で「タイムスケール(時間軸データ)」を作成していただく必要があります。

この「タイムスケールデータ」の作成方法について以下に記します。

先述のとおり、データ表の1行目「E0」の値がサンプリング間隔となりますので、この値が「タイムスケール」の基となります。

この値を、データ表の32行目からはじまる実データの横に入力します。

表計算機能を使用し、次の行以降サンプリング間隔ずつデータの最終行まで加算して行きます。

E0	200		
E1	1000		
E2	3.5		
E3	3.45		
E4	10		
E5	C:¥EKO¥data¥D1_SampleA.par		
E6			
E7			
E8	2.7		
E9	0.16		
Ea			
Y0	0		
Y1	0		
S	0		
a0	5.94E-06		
a1	0.606026		
a2	0.004429		
a3			
a4	-0.01907		
a5			
a6	-0.01967		
b0	102		
b1	1000		
c0	0.595398		
c1	0.00992		
c2	20.4		
c3			
c4	0		
c5	0		
c6	0		
c7	0		
D	-0.01967	0.606026	200
D	0.0301	0.606058	
D	-0.05752	0.606037	
D	0.041723	0.606068	
D	-0.03368	0.606009	
D	-0.05394	0.606047	
D	-0.03278	0.606056	
D	0.00149	0.606091	

図 11-1-2. タイムスケール開始点

c2	20.4		
c3			
c4	0		
c5	0		
c6	0		
c7	0		
D	-0.01967	0.606026	200
D	0.0301	0.606058	400
D	-0.05752	0.606037	600
D	0.041723	0.606068	800
D	-0.03368	0.606009	1000
D	-0.05394	0.606047	1200
D	-0.03278	0.606056	1400
D	0.00149	0.606091	1600
D	0.005364	0.606061	1800
D	-0.04083	0.605996	2000
D	-0.0003	0.595235	197200
D	-0.02235	0.595123	197400
D	-0.06586	0.595141	197600
D	-0.0307	0.595228	197800
D	-0.0146	0.595144	198000
D	-0.02056	0.595206	198200
D	0.018179	0.595199	198400
D	-0.03099	0.595234	198600
D	0.024736	0.595233	198800
D	-0.03576	0.595138	199000
D	-0.0459	0.595232	199200
D	0.009537	0.595239	199400
D	-0.05364	0.59523	199600
D	-0.04947	0.595287	199800
D	-0.01907	0.595208	200000
END			

図 11-1-3. タイムスケール終了点

「時間－電流」のグラフ描画を行うのであれば、X軸に作成した「タイムスケール」、Y軸に「データ表③列目」を設定します。

「時間－電圧」のグラフ描画を行うのであれば、X軸に作成した「タイムスケール」、Y軸に「データ表②列目」を設定します。

11-2. 解 析 データファイル

『11-1. 計測データファイル』と同様、「解析データファイル(.par)」を「カンマ(,)区切りのデータ」として呼び出しますと、下図(図11-2-1)のようなデータ表が表示されます。

Sample_A								
Memo								
2008/10/1								
21:36:19								
C:¥EKO¥data¥data_SampleA								
Data number	Laser Initial	Laser Final	D[cm^2/s]	Jsc[mA/cm^2]	τ[sec]	Voc[mV]	n[cm^-3]	Ini_Voc[mV]
1	3.5	3.47	0.000006	2.35728	0.018702	391.123639	2.60E+18	392.359542
2	1.9	1.87	0.000003	1.067364	0.035029	342.453461	1.90E+18	343.278389
3	0.95	0.92	0.000001	0.379888	0.068535	279.772613	1.10E+18	280.711088
4	0.7	0.675	0.000001	0.222584	0.09892	249.283045	7.80E+17	250.970751

図 11-2-1. 解析データ表

このデータ表は、PSL-100ソフトウェアの「データ解析画面」と同じく「データテーブル」となります。

複数の「解析データファイル」から「データテーブル」を並べ、下図(図11-2-2)のように「解析プロット図」の重ね描きを行う場合などに本データを用います。

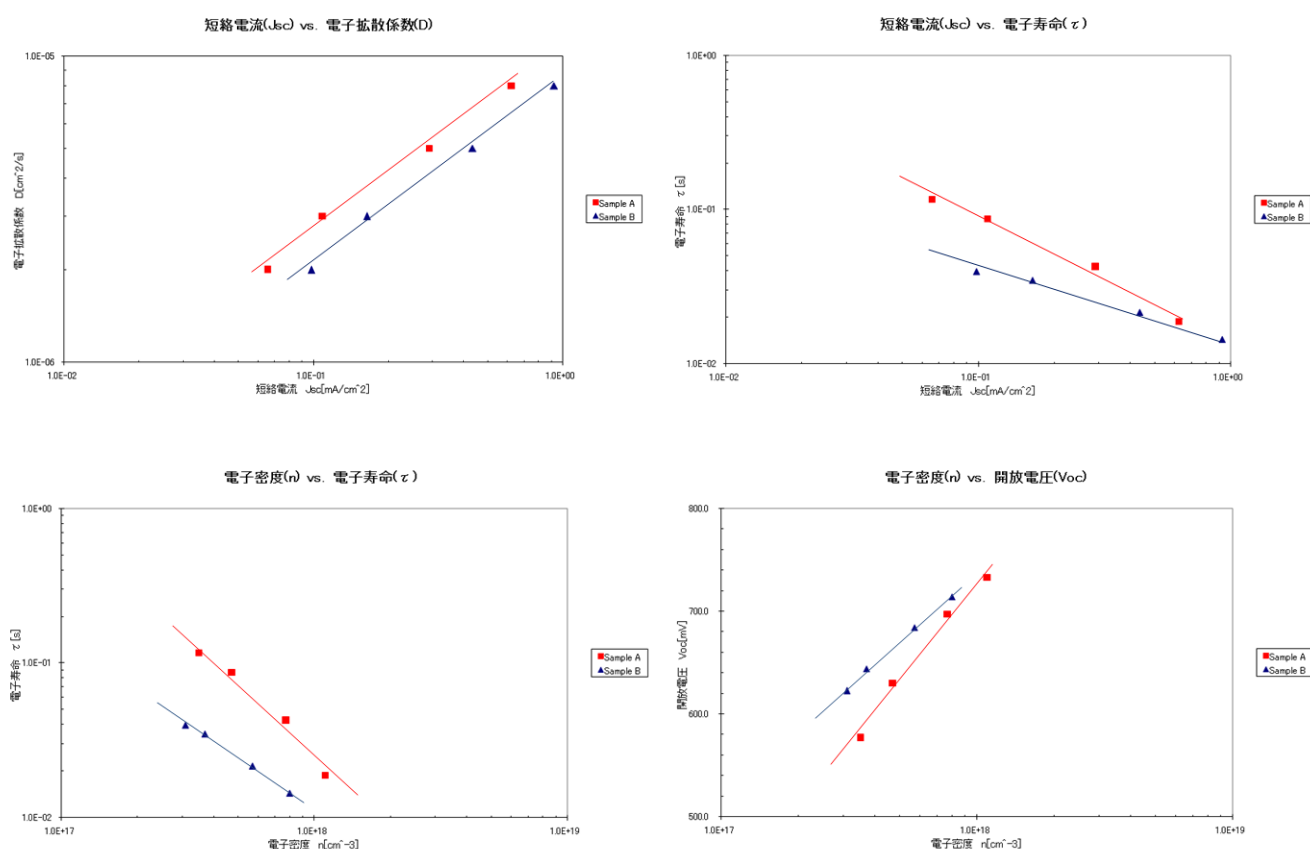



図 11-2-2. 解析プロット図の重ね描き

12. 励起光源レーザ波長オプション

色素増感太陽電池(DSC)の研究・開発では様々な「色素」が用いられており、それぞれ独自の「吸収波長」、「モル吸光係数」を持ちます。

本システムでは標準の励起光源として“660 [nm] / 40 [mW] ”の半導体レーザを使用しておりますが、この励起光源波長域に対しほとんど光吸収を持たない色素もDSCには採用されます。
このため、標準励起光源より短波長側となる“473 [nm] / 20 [mW] ”の半導体レーザをオプションとしてラインナップしております。

ここでは、オプションの半導体レーザにつきまして説明します。
※　この他の波長域(又は強度)レーザにつきましては、当社までお問い合わせください。

12-1. オプションレーザ仕様

本装置のオプションとして使用する半導体レーザは下記のものとなります。

MLX-D13-473-20 (キコー技研社製)
- レーザ光波長:　473 [nm] ± 10 [nm]
- LD最大定格:　20 [mW]
- JIS安全クラス:　3B
- 光学レンズ部:　φ6.4 非球面ガラスレンズ

12-2. オプションレーザ既知の問題

オプションとして用いる半導体レーザ(MLX-D13-473-20)は、レーザ内部に組み込まれているデバイスの特性上、僅かな残留光が発生します。
これは装置本体に半導体レーザを接続し[Laser Initial (V)]値を“0 [V]”に設定しても、ほのかに発光する特性となります。

この発光による光強度は極めて微弱なものですが、設置・調整作業中誤ってレーザ出力口を覗き込むなど、光を直視しないよう十分にご注意ください。
尚、レーザの設置・調整作業を行う際には、必ずレーザゴーグルを着用頂けますようお願い致します。

⚠警告・注意:　失明の恐れがありますので、絶対にレーザ光を直視しないでください。

又、本レーザは光強度をステップ状に変化させた際、極めて短時間のあいだ出力に歪みが発生します。
この歪み時間は、多くの色素増感太陽電池(DSC)セルでは応答できないほど短時間で収束しますが、万一、測定に用いるDSCセルの電流過渡応答が“1 [msec]”よりも早い場合には、測定データに影響する可能性がありますのでご注意ください。

13. 正確な測定・評価のために

本システムでは、光源であるレーザの光強度をステップ状に微小変化させた際に色素増感太陽電池(DSC)セルから出力される「短絡電流」および「開放電圧」の過渡応答波形を測定します。

本システムが準拠しておりますSLIM-PCV法による測定・評価では、微分方程式の解をこれら「過渡応答波形」に対して“exp (-*t* / *τ*)” のフィッティングを行うことから求め「電子拡散係数」、「電子寿命」を算出します。
従いまして、測定に用いるDSCセルの構造や構成は微分方程式の「初期条件」および「境界条件」を満たす必要があります。

又、SLIM-PCV法で用いる上記微分方程式は、「拡散係数」および「電子寿命」を定数として扱っています。
これは、DSCの「拡散係数」、「電子寿命」が一般的に「電子密度」依存を持つことが基となっております。
よって実際の測定も、「DSCセル半導体電極中の電子密度が均一である」と近似可能な条件でおこなわれる必要があります。

以上のことから、SLIM-PCV法による測定・評価では、測定対象であるDSCセルに対する「**レーザ(光源)からの光照射状態**」およびDSCセル「**半導体電極膜内部の光励起状態**」の確認が非常に重要となります。

測定に際し、光源となるレーザからDSCセル有効受光面に対して光照射を行いますが、その照射条件は「**レーザの照射面積直径**が測定対象となるDSCセルの**膜厚より十分に長い**こと且つ、**拡散長より十分に長いこと**」となります。

実際には、測定に用いるDSCセルの「有効受光面積」に対して光照射面積(平凸レンズにより拡大されたレーザ照射面)を十分に大きくし、均一に照射することとなります。

又、DSCへ光を照射し電子を励起する場合、照射面となる半導体電極側から対極側へ向かって励起密度が低くなります。
これは、照射面に近い方から光吸収が発生することに起因し、DSCが短絡回路状態、開放回路状態の何れであっても、厳密には電子密度が均一でないことを意味します。

SLIM-PCV法による測定・評価では、測定に用いるDSCセルの半導体電極膜に対し「**吸光係数が低い波長**」を光源とし、電極膜自体も「**薄膜**」とすることで「DSCセル半導体電極中の**電子密度が均一である**」と近似できる状態を得ます。
このことにより、「拡散係数」および「電子寿命」を定数として扱えるようになります。

本項では、測定に用いるDSCセル受光面に対し光源であるレーザから光照射を行う際の「注意点」および照射状態の「確認方法」について説明した後、光源として“473 [nm]”オプションレーザを使用する際の「注意点」について説明をします。

13-1. サンプルセル受光面への光照射

前述のとおり、SLIM-PCV 法よる測定・評価では、色素増感太陽電池(DSC)セルの有効受光面全体に対し光照射することが重要となります。

DSC セル受光面に対する光照射面積がセル有効受光面積より小さくなる場合、その要因の多くはレーザ光スポット径を拡大する「レンズ位置」にあります。

本装置では、レーザから出力される光を平凸レンズで拡大しサンプルセル有効受光面へ照射しますが、この平凸レンズの位置が適切でない場合「集光」などの不具合が生じます。(図 13-1-1)

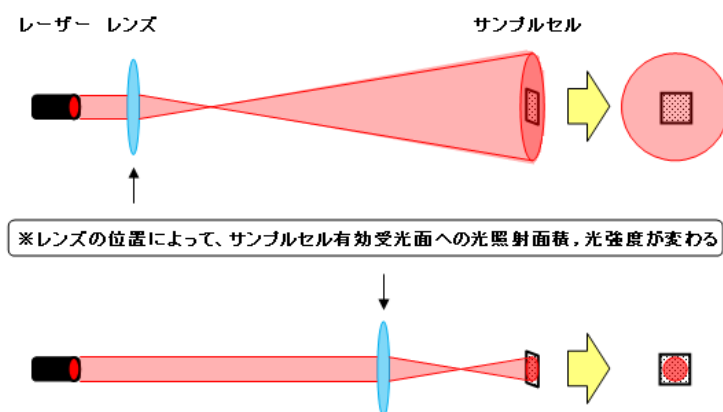



図 13-1-1. レンズ位置による光照射の違い

測定に用いるDSCセルの受光面全体に対し十分な光照射面積が得られているかを、「電子拡散係数(D)測定」のデータから確認する方法があります。

DSC セルは、有効受光面への光照射面積が十分に得られており、且つ半導体電極内の光励起分布が均一である場合、同じ「短絡電流値(I_{sc})」における「電子拡散係数値」は一定の値となります。
一方、セル受光面に対する光照射面積の大きさは、光源であるレーザとそのレーザ光を拡大するために用いる平凸レンズの位置関係で決まります。

このことから、光学ベンチ内で「レーザ位置」および「サンプルセルホルダー位置」を任意の位置で固定し、両者の間で「平凸レンズ位置」を「レーザ位置」に近いほうから徐々に数カ所移動させ、同じ「短絡電流値(I_{sc})」となる「電子拡散係数(D)測定」を繰り返します。

平凸レンズが「セル有効受光面への光照射面積が十分に得られており、且つ半導体電極内の光励起分布が均一となる」位置である間、「電子拡散係数(D)測定」により得られる「電子拡散係数値」は一定値を維持しますが、レンズ位置が「サンプルセルホルダー」側へ近付き十分な光照射面積を確保できなくなりますと、「電子拡散係数値」がそれまで維持していた一定値から外れます。

この「電子拡散係数値」が一定の値から外れてしまうポイントを避けることが、SLIM-PCV 法による測定・評価に適した光学条件(「レーザ」、「レンズ」および「サンプルセル」の位置決め)となります。

以下に、“0.16 [cm^2]”の有効受光面積を持つ DSC セルを用いた光学条件確認例を、実データとともに記します。

1. 光学条件の確認例

(1)　手順 1

光学ベンチ内にある光学部品のうち、「レーザホルダー(レーザ装着済み)」、「レンズホルダー(平凸レンズ装着済み)」、「サンプルセルホルダー(DSC セル装着済み)」以外の部品を外し、十分なスペースを確保します。(図 13-1-2)

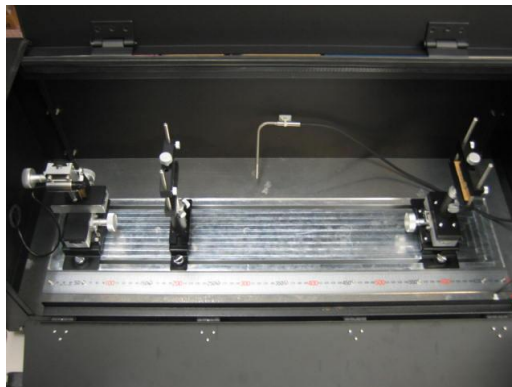



図 13-1-2. 光学ベンチ内部

(2)　手順 2

「レーザホルダー」と「サンプルセルホルダー」を任意の位置で決め、固定します。

続けて「レーザホルダー」と「サンプルセルホルダー」の間で「レンズホルダー」の位置を任意に決めますが、この「レンズホルダー」の初期位置はなるべく「レーザホルダー」に近い場所を選びます。(この後、徐々に「サンプルセルホルダー」方向へと移動させながら、「電子拡散係数(D)測定」を繰り返します。)

尚、光学ベンチには「スケール」が付いておりますので、位置決めの目安として、この「スケール」の読み値を使用します。

今回の例では各光学部品の初期位置をスケールの読み値で以下としました。(図 13-1-3)

・　レーザホルダー　　　　　:　50 [mm]
・　サンプルセルホルダー　　:600 [mm]
・　レンズホルダー　　　　　:200 [mm]

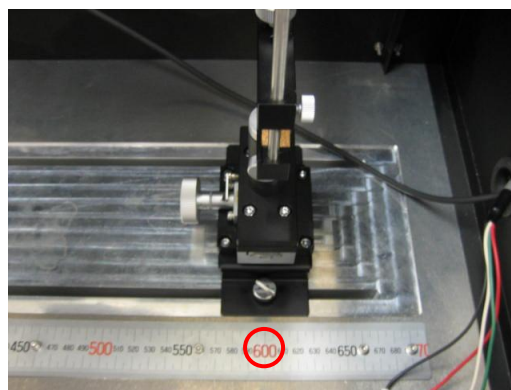
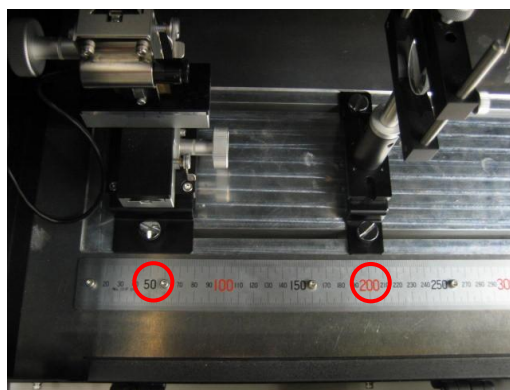



図 13-1-3. 各光学部品　初期位置

(3)　手順 3

レーザゴーグルを装着し、サンプルセルの有効受光面全体に光が照射されるよう「レーザホルダー」の XYZ ステージ操作により微調整します。(図 13-1-4)

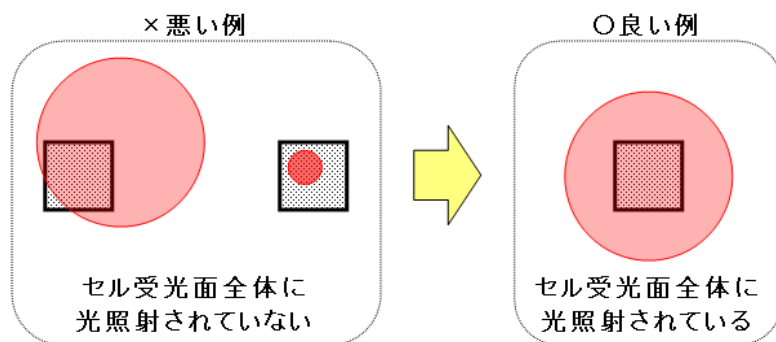



図 13-1-4. セル受光面への光照射例

(4)　手順4

任意のレーザ強度で「電子拡散係数(D)測定」を行います。

測定結果画面から「短絡電流値：I_{SC} [mA] 」と「電子拡散計数値：D [cm^2/s] 」を、又、設定画面上から「Laser Initial」の値をそれぞれ控えておきます。(図 13-1-5)

今回の例では、次の測定条件設定で光学部品初期位置の「電子拡散係数(D)測定」を行い、以下の結果を得ました。

＜測定条件設定＞

Sampling Int:	100 [μs]	Laser Initial:	2.940 [V]
Sampling Number:	1000 [回]	Laser Final:	2.840 [V]
待ち時間設定:	5 [s]		

＜測定結果＞

短絡電流値　Isc　　= 0.350 [mA]

電子拡散係数　D　　= 6.06E-5 [cm^2/s]

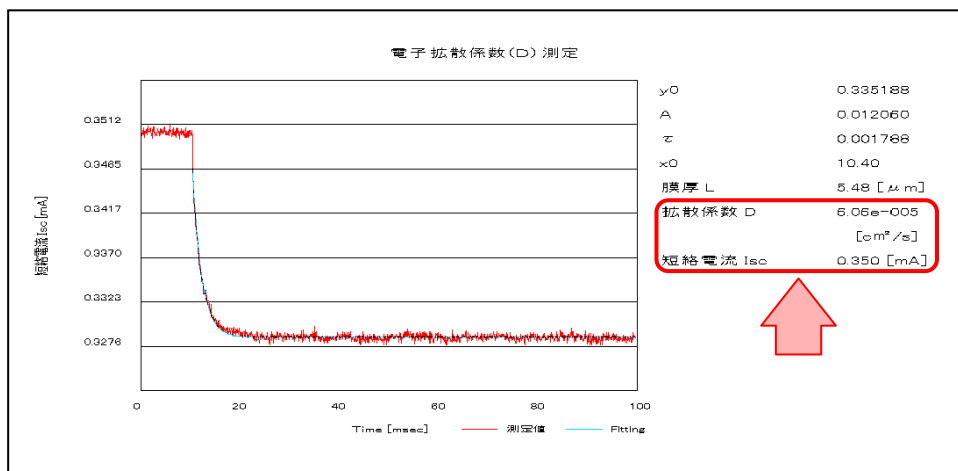



図 13-1-5. 電子拡散係数測定結果(レンズ位置=200 [mm])

(5)　手順 5

「レンズホルダー」の位置を光学ベンチスケールに沿って 50[mm]ほど「サンプルセルホルダー」側へ移動させます。(スケール読み値＝250[mm])

光学部品初期位置で計測した「短絡電流値：Isc[mA]」と同じ値となるよう「Laser Initial (V)」値の設定を行い、「電子拡散係数(D)測定」を行います。

今回の例では、“Laser Initial = 2.095 [V]”で測定した際、光学部品初期位置とほぼ同じ「短絡電流値：I_{sc}[mA]」が得られました。(図 13-1-6)

＜測定条件設定＞

Sampling Int:	100 [μs]	Laser Initial:	2. 095 [V]
Sampling Number:	1000 [回]	Laser Final:	2. 005 [V]
待ち時間設定:	5 [s]		

＜測定結果＞

短絡電流値 Isc　= 0.350 [mA]

電子拡散係数 D　= 5.99E-5 [cm^2/s]

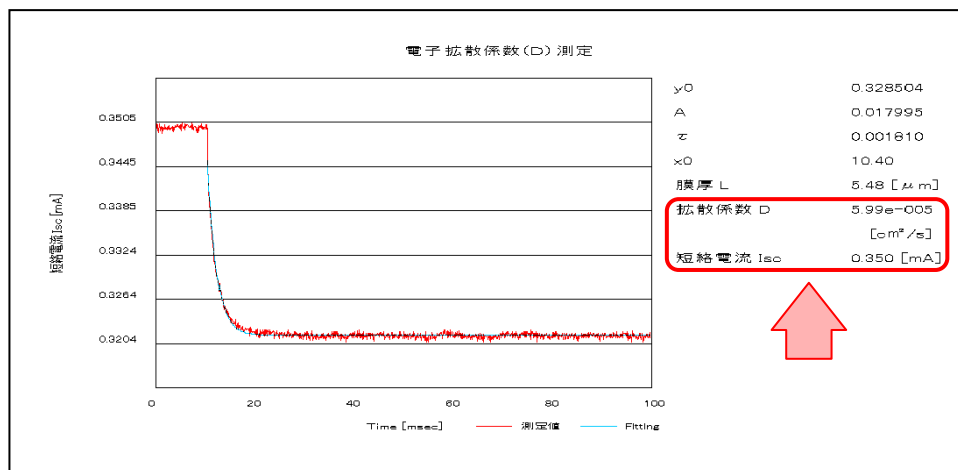



図 13-1-6. 電子拡散係数測定結果(レンズ位置=250[mm])

尚、各「レンズホルダー」位置の「電子拡散係数(D)測定」において、光学部品初期位置と同じ「短絡電流値：I_{sc}[mA]」となる「Laser Initial」設定値を見出すためには、それぞれ何度かの「電子拡散係数(D)測定」を行い、その中からより適切なデータを選択する必要があります。

上記の設定値を見出す目安としては、経験的に「レンズホルダー」位置を「レーザホルダー」側から「サンプルセルホルダー」側へ移動させるにつれ、「Laser Initial」の設定値を下げる傾向となる点があります。
同様に「レンズホルダー」位置を移動させるにつれ、「Laser Initial」設定値と「Laser Final」設定値幅も狭めますと、光学条件初期位置と同様な波形データを得やすくなります。

(6)　手順6

「レンズホルダー」の位置を光学ベンチスケールに沿ってさらに50[mm]程度ずつ「サンプルセルホルダー」方向へ移動させ、手順5の操作を数回繰り返します。

今回の確認例では、「レンズホルダー」の位置を光学ベンチスケールにそって50[mm]ずつ移動させながら6点の測定を行いました。
その結果を次表に示します。(表13-1)

表 13-1. 電子拡散係数　測定結果

レンズ位置		短絡電流値		電子拡散係数	レーザ光強度設定
(スケール読み値[mm])		I_{sc}[mA]	J_{sc}[mA/cm^2]	D[cm^2/s]	Laser Initial [V]
1	200	0.350	2.244	6.06E-05	2.940
2	250	0.350	2.243	5.99E-05	2.095
3	300	0.350	2.242	5.99E-05	1.680
4	350	0.350	2.242	6.11E-05	1.485
5	400	0.350	2.241	6.95E-05	1.200
6	450	0.350	2.242	1.26E-04	1.080

但し、レーザ位置=50[mm]、サンプルセル位置=600[mm]

(7)　手順7

測定結果(表13-1)を基に、「電子拡散係数：D[cm^2/s]」の値が一定値を維持しているポイントを確認します。(図13-1-7)

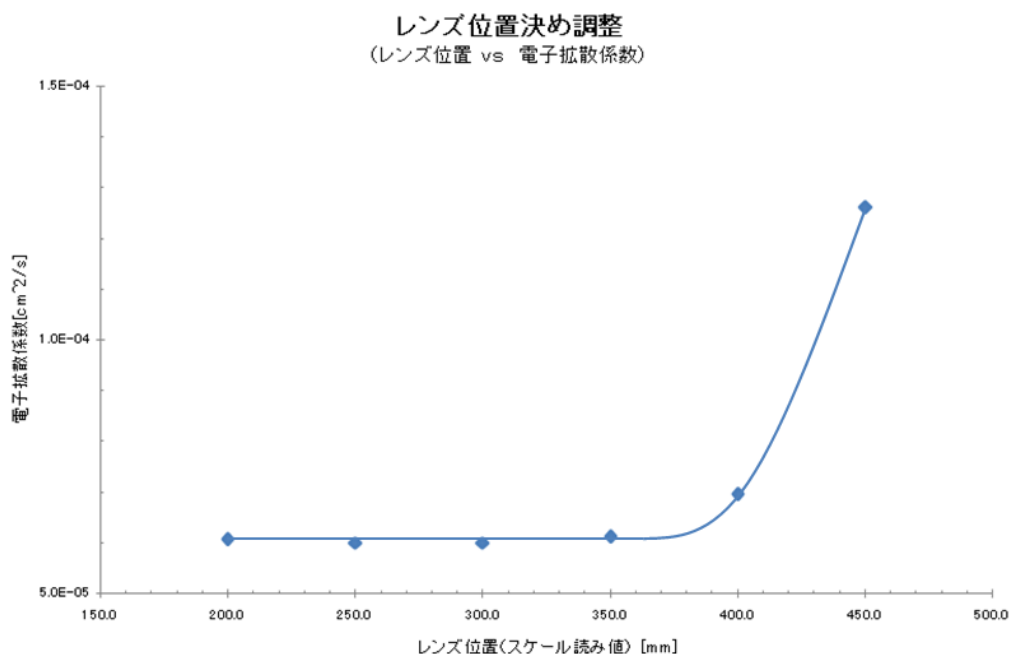



図 14-1-7. レンズ位置決め調整結果(レンズ位置 vs 電子拡散係数)

今回用いたDSCセルをSLIM-PCV法により測定・評価する場合、以下の光学部品位置条件であれば「セル有効受光面への光照射面積が十分に得られており、且つ半導体電極内の光励起分布が均一となる」ことが確認できました。

- レーザホルダー　：50[mm]
- サンプルセルホルダー　：600[mm]
- レンズホルダー　：200[mm]～350[mm]

13-2. サンプルセル半導体電極内部の励起状態

先述のとおり、SLIM-PCV法による色素増感太陽電池(DSC)セルの測定・評価は、「**DSCセル半導体電極中の電子密度が均一である**」と**近似可能な条件**でおこなわれる必要があります。
このため、半導体電極内部の励起状態が均一となるよう、用いた色素に適合した電極の「膜厚」設定、励起光の「波長域」選択が必要となります。

ここでは、代表的な色素を用い作成されたDSCセルのSLIM-PCV法測定・評価結果から、色素に適合した電極「膜厚」および励起光「波長域」の選択指針について説明します。[1]

参考文献　：［1］小川潤一，西川賢，長谷川壽一，森正悟　Electrochemistry, 80(11), 1-5(2012)

1. 電子拡散係数測定時における半導体電極内の光励起状態

SLIM-PCV法による「電子拡散係数」測定を行う際、測定に用いるDSCセル半導体電極内の光励起状態が均一であるならば、「半導体電極膜側から対極側」を励起光の照射方向とした場合と「対極側から半導体電極膜側」を照射方向とした場合、どちらも同じ電子拡散係数が得られるはずです。

このことから、対象となるDSCセルの「対極」が光を透過する材質で構成されている場合、励起光の照射方向を「半導体電極膜側から対極側」、「対極側から半導体電極膜側」、両方向における「電子拡散係数(D)測定」を数点の光強度下で行い、得られた測定データの値と傾向を比較することでセル半導体電極内の光励起状態を確認できます。

次図(図13-2-1 ＆ 図13-2-2)は、レーザ波長"660[nm]"および"473[nm]"を励起光源とし、「電子拡散係数(D)測定」による光励起状態確認を行った結果となります。

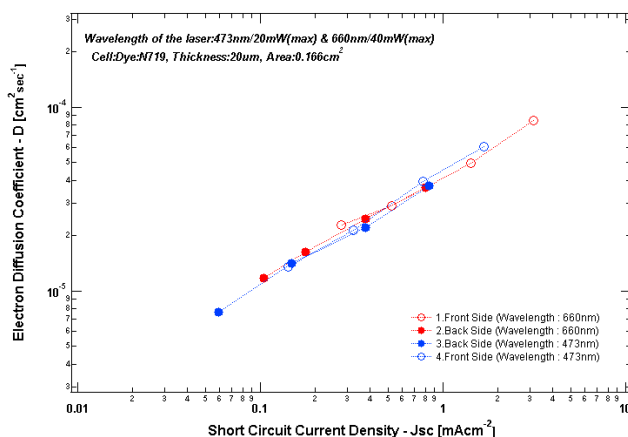
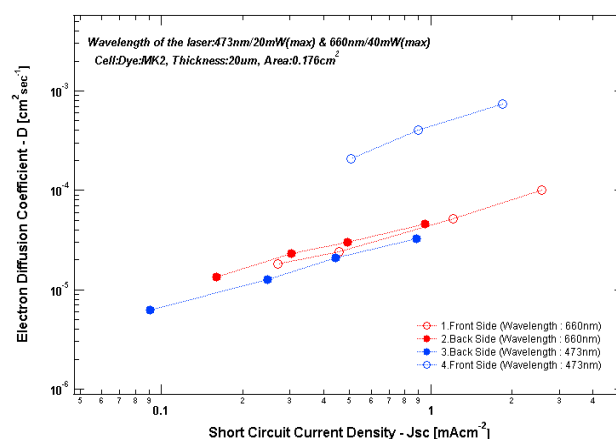



図 13-2-1. 電子拡散係数測定結果例①　　図 13-2-2. 電子拡散係数測定結果例②

上図、結果例①(図13-2-1)では「セルへの励起光照射方向」および、「励起光源となるレーザの波長」に関係なくほぼ同じ「短絡電流密度J_{sc}ー電子拡散係数D」傾向を得ることができましたので、セル半導体電極の励起状態は均一であると考えることができます。

一方、結果例②(図13-2-2)では、「セルへの励起光照射方向」および、「励起光源となるレーザの波長」の違いにより「短絡電流密度J_{sc}ー電子拡散係数D」の傾向が大きく異なっていますので、測定に用いたセルの半導体電極励起状態は不均一であると考えられます。

結果例②のような傾向となる場合、SLIM-PCV法による測定・評価を正しく行うことはできませんので、電極内部の励起状態が均一となるよう、セル「電極膜条件」の再設計あるいは、「励起光源の波長」を適宜変える必要があります。

2. DSCセルの吸光度(アブソーバンス)

前項、光励起状態の確認結果例にありましたとおり、DSCセルでは「励起光源となるレーザ波長」の違いなどによって、測定時におけるセル半導体電極内の光励起状態が異なります。

これらDSCセル半導体電極内における励起電子密度の分布は「電極の吸収係数」によって決まりますので、異なる測定結果となった要因は各色素を担持させたTiO_2電極部の「吸光度(アブソーバンス)」にあると考えられます。

右図(図13-2-3)は、DSCセル作成時、「封止」を行う直前に半導体電極部の吸光度を「UV-vis」で測定した結果となります。

この図には、色素や膜厚、浸積時間の異なるサンプルデータを並べてありますが、何れも測定に用いる励起光源波長において吸光度"1.0"を越えた場合、電極内の励起状態が不均一となることが解っております。

測定に用いるセルを作成する際には、励起光源波長において吸光度が"1.0"以下となるよう設計を行ってください。

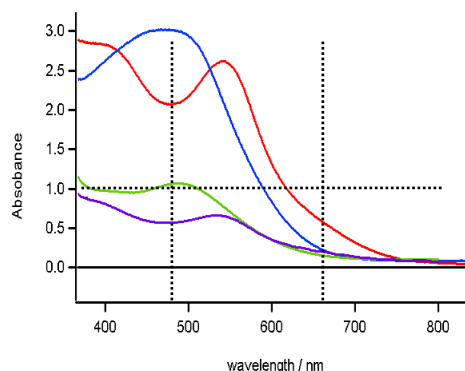



図 13-2-3. セル電極部　吸光度測定データ

又、電子拡散係数測定結果である短絡電流過渡応答波形に "exp ($-t$ / τ_c)" のフィティングが乗らない場合があります。(図13-2-4)

このような結果は、測定に用いるセルの吸光度が励起光源波長において高い値(1.0以上)の時顕著に現れますので、セル設計時の目安としてください。

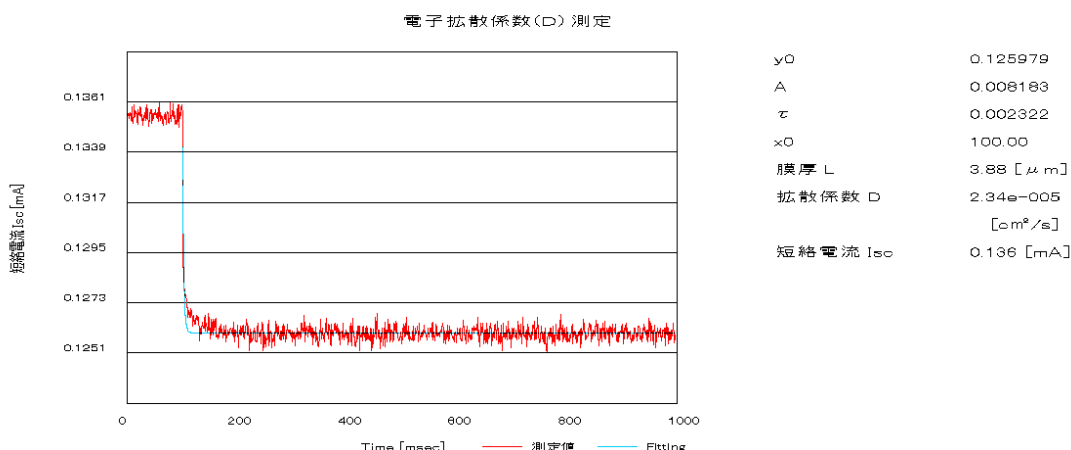



図 13-2-4. 電流過渡応答波形　フィッティング不適合例

14. PSL-100 測定範囲について

色素増感太陽電池評価装置PSL-100は、色素増感太陽電池サンプルセルの測定・評価を「SLIM-PCV法」により簡便におこなえる専用装置として開発されておりますが、装置仕様(スペック)の都合上、測定・評価可能範囲に制限があります。

ここでは、「高精度(高分解能)な測定器を組合せて構築したシステム」と「PSL-100」を用いて、同一の色素増感太陽電池サンプルセルを測定した結果から、装置測定範囲と測定限界について記します。

- **サンプルセル受光面に対し光照射を行った際、セルから出力される短絡電流値(I_{sc})が“10[μA]”以下となるような条件で測定された電子拡散係数の値は信頼性が低くなります。**

  SLIM-PCV法による色素増感太陽電池サンプルセルの電子拡散係数測定・評価は、光強度を微小変化させた際にセルから出力される「電流過渡応答波形」を計測し、その波形データに対するフィッティング結果から電子拡散係数(D [cm^2/s])を算出します。

  本装置では、光照射下におけるセル出力短絡電流(I_{sc})が“10[μA]”以下となるような条件で計測された「電流過渡応答波形」に対して “exp ($-t$ / τ_c)” のフィッティングを行った場合、装置電流計測分解能の影響からフィッティング係数“τ_c” の精度が落ち、結果として電子拡散係数(D[cm^2/s])値の信頼性が低くなることが判っています。(図14-1 赤丸部参照)

- **電子密度(n)の値が、“7×10^{17}[cm^{-3}]” 以上となる光強度条件で測定を行ってください。**

  SLIM-PCV法による色素増感太陽電池サンプルセルの電子密度測定では、光照射によりセル内部に蓄えられた電子を「電流過渡応答波形」として計測し、その波形データを時間積分した電気量(Q[C])をもとに電子密度(n[cm^{-3}])を算出します。

  本装置による電子密度測定では電流計測分解能の影響から、測定結果がおよそ“7×10^{17}[cm^{-3}]”以下の電子密度(n[cm^{-3}])となった場合その誤差が大きくなるため、実際の値より高めとなる傾向を示すことが判っています。(図14-4 赤丸部参照)

以下に示すデータは、「高精度(高分解能)な測定器を組合せて構築したシステム(以下、Systemと略記)」と「PSL-100システム」の比較試験結果となります。

本試験では膜厚のみ異なる次の色素増感太陽電池サンプルセルを用い、両システムで取得されたデータの比較を行うことで、PSL-100測定可能範囲を調査しました。

＜試験サンプルセル＞

	膜厚	受光面積	色素	電極材
Sample_A	7.32[μm]	0.159[cm^2]	N719	TiO_2
Sample_B	3.16[μm]	0.149[cm^2]	N719	TiO_2

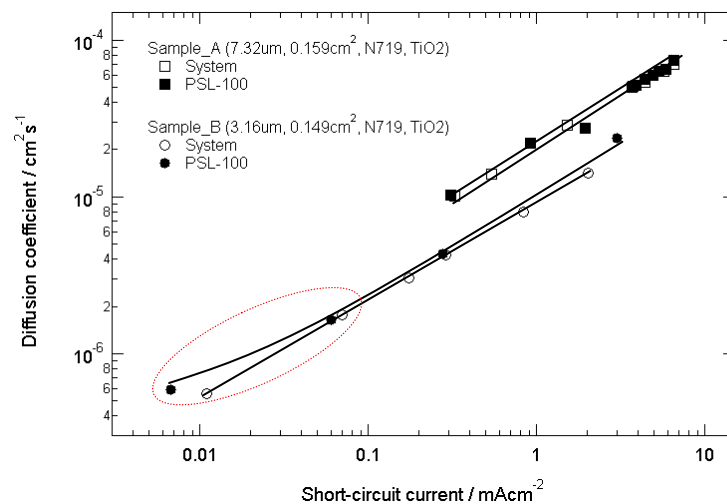



図 14-1.「短絡電流密度 vs 電子拡散係数」比較試験結果

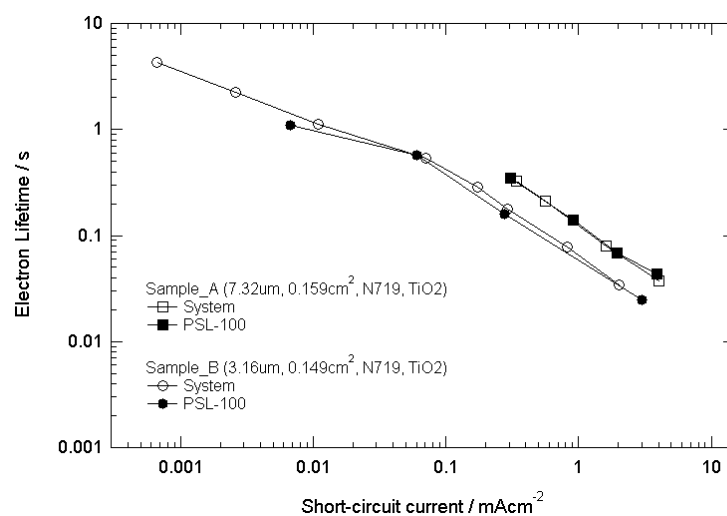



図 14-2.「短絡電流密度 vs 電子寿命」比較試験結果

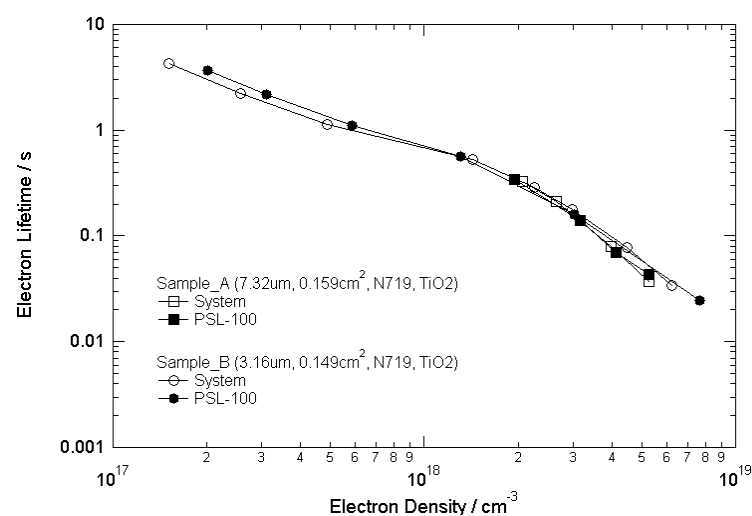



図 14-3.「電子密度 vs 電子寿命」比較試験結果

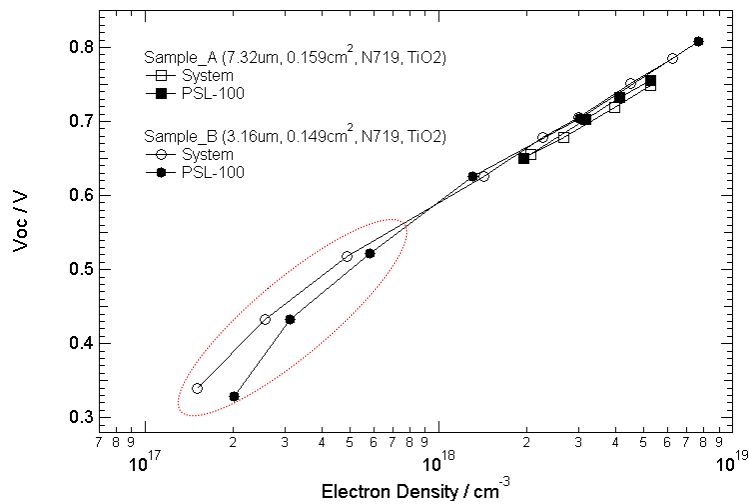



図 14-4.「電子密度 vs 開放電圧」比較試験結果

これら測定結果データより、PSL-100システムで色素増感太陽電池(DSC)セルの測定・評価を行うにあたり、現在までに確認できている事項は以下となります。

◇ **電子拡散係数(*D*)測定**

光照射下における短絡電流(I_{sc})値が “10[μA] ＜I_{sc}＜ 1.2[mA]” の範囲となるような光強度条件設定あるいはサンプルセル設計を要す。

◇ **電子寿命(*τ*)測定**

電子寿命(τ)が “2.5[ms] ＜τ＜ 1[s]” の範囲となるような光強度条件設定あるいはサンプルセル設計を要す。

◇ **電子密度(*n*)測定**

電子密度(n)が “7×10^{17}[cm^{-3}]” 以上となるような光強度条件設定あるいはサンプルセル設計を要す。
尚、電子密度の上限は “1×10^{19}[cm^{-3}]” まで計測できることを確認している。

15. メンテナンス&トラブルシューティング

色素増感太陽電池評価装置　PSL-100　による安定した測定・解析を維持するため、日頃から装置のメンテナンスを心掛けてください。

15-1.　日 常 的 な 点 検

下記の点検とメンテナンスを定期的に行うことをお勧めします。

1. 光学ベンチ内部の清掃

光学ベンチ内部に埃が溜まらないよう、日頃から清掃を行ってください。

又、「レンズ」、「レーザ出力部」などの光学部品は、メガネ拭きのような柔らかい布を用いてメンテナンスしてください。

2. レーザの交換

レーザは消耗品です。以下の規格を参考に、定期的な交換をお勧めします。

MTTF　：　システム環境温度　60℃使用時、出力 40nW、30000 時間

3. 通風口付近の清掃

計測装置本体のサイドパネルには通風口があります。埃などが詰まらないよう、定期的に清掃を行ってください。

15-2.　校 正 について

本製品は、その使用頻度および環境により異なりますが、2年に1回程度の周期で定期点検することをお勧めします。

又、長期間電源が投入されていないような場合にも、校正を行ってからご使用いただくことをお勧めします。

当社への点検・校正依頼の際は、『2-1.　連絡先』までご連絡ください。

15-3．トラブルシューティング

修理やお問い合わせのご連絡を頂く前に、下記の項目をご確認下さい。下記項目に当てはまらないトラブルや、技術的質問などは、当社までご連絡頂けますようお願い致します。

症状	考えられる原因	処置	参照
電源が入らない。	定格範囲外の電源を使用している。	定格範囲内の電源を使用してください。	『5-3. 電源接続と接地』
PC と計測装置の通信ができない。	通信ケーブルが正しく接続されていない。	通信ケーブルを正しく接続してください。	『6-2. 構成機器間の接続』
	COM ポートの設定に誤りがある。	COM ポートの設定を確認してください。	『8. PC およびソフトウェア』
レーザ光が出力されない。	レーザケーブルが正しく接続されていない。	レーザケーブルを正しく接続してください。	『6-2. 構成機器間の接続』
	ソフトウェアの設定・操作に誤りがある。	ソフトウェアの設定・操作を確認してください。	『9-3. 測定用サンプルセルのセッティング』
測定が開始できない。	通信ケーブルが正しく接続されていない。	通信ケーブルを正しく接続してください。	『6-2. 構成機器間の接続』
	COM ポートの設定に誤りがある。	COM ポートの設定を確認してください。	『8-1. 通信ポートの設定』
	ソフトウェアの設定・操作に誤りがある。	ソフトウェアの設定・操作を確認してください。	『9. 測定とソフトウェア操作』
測定データがうまく取れない。	装置が接地されていない。	装置を接地してください。	『5-3. 電源接続と接地』
	光学系部品の設定が適切でない。	光学系部品の設定を適切に行ってください。	『6-1. 各部の名称とはたらき、2. 光学ベンチ(PSL-100-O)』
	サンプルセルへのケーブル接続に誤りがある。	サンプルセルへのケーブル接続を確認してください。	『6-2. 構成機器間の接続』
	サンプルセルへの光照射に不具合がある。	サンプルセルへの光照射を正しく行ってください。	『9-3. 測定用サンプルセルのセッティング』
	測定条件設定が適切でない。	測定条件設定を適切な値にしてください。	『9. 測定とソフトウェア操作』
	レンズなどに汚れがある。	キレイに清掃してください。	『15-1. 日常的な点検』
	レーザが消耗してしまった。	新しいレーザへ交換してください。	『15-1. 日常的な点検』
過去に測定したデータを読み込めない。	測定結果データと測定項目が一致していない。	測定結果データを正しい測定項目上で読み込んでください。	『9. 測定とソフトウェア操作』

16. 仕様

16-1. 本体仕様

表 16-1. 一般仕様

項目	詳細
設置条件	屋内使用
周囲温度	+10℃ ～ +40℃
湿度	70%以下 (但し、結露のないこと)

表 16-2. 計測装置本体 PLS-100-M

項目	詳細	
一般仕様		
供給電源	AC100V ±10%	
周波数範囲	50Hz / 60Hz	
消費電力	25VA 以下	
ウォームアップラン	30 分以上	
外形寸法	480(W)×210(H)×418(D) mm	
重量	10kg	
計測部仕様		
電子拡散係数測定	計測方式	電流計測
	変換比	1.0000 [mA] / 1.0000 [V]
	計測可能範囲	-0.3000 [mA] to +1.2000 [mA]
	A/D 変換レート	1 : 1
	数値データ誤差	±0.005 [mA]以内
電子寿命測定	計測方式	電圧計測
	入力インピーダンス	10^9 [Ω]以上
	計測可能範囲	-0.3000 [V] to +1.2000 [V]
	A/D 変換レート	1 : 1
	数値データ誤差	±0.005 [V]以内

表 16-2. 計測装置本体 PLS-100-M – つづき

電子密度測定、I-V カーブ測定	制御部		
	制御方式	バイアス電位印加方式	
	制御出力インピーダンス	20 [Ω]以下	
	制御出力設定範囲	-0.3000 [V] to +1.2000 [V]	
	制御出力設定分解能	0.0001 [V]	
	制御出力設定誤差	±0.005 [V]以内	
	電圧計測部		
	計測方式	電圧計測	
	入力インピーダンス	10^9 [Ω]以上	
	電圧計測可能範囲	-0.3000 [V] to +1.2000 [V]	
	A/D 変換レート	1 : 1	
	数値データ誤差	±0.005 [V]以内	
	電流計測部		
	計測方式	電流計測	
	計測レンジ	4 レンジ (100mA、10mA、1mA、100μA)	
	変換比	電流レンジ F.S / 1.0000 [V]	
	計測可能範囲	100mAレンジ時: 10mAレンジ時: 1mAレンジ時: 100μA レンジ時:	-30.00 [mA] to +100.00 [mA] -3.000 [mA] to +10.000 [mA] -0.3000 [mA] to +1.0000 [mA] -30.00 [μA] to +100.00 [μA]
	A/D 変換レート	1 : 1	
	数値データ誤差	100mAレンジ時: 10mAレンジ時: 1mAレンジ時: 100μAレンジ時:	±1.0 [mA]以内 ±0.05 [mA]以内 ±0.005 [mA]以内 ±0.5 [μA]以内
通信仕様			
通信方式	シリアル通信方式		
通信ポート	USBポート 又は RS-232Cポート (USBポートを推奨)		
通信速度	19200bps		

表 16-3. 光学ベンチ PLS-100-O

項目	詳細	
一般仕様		
外形寸法	817(W)×314(H)×344(D) mm	
重量	50kg	
光学部品(主要部品)		
レーザ仕様(標準光源)	使用レーザ	MLX-D12-660-40　キコー技研社製
	JIS 安全クラス	3B
	光学レンズ部	φ6.4 非球面ガラスレンズ
	レーザ光波長	660 [nm] ±10 [nm]
レーザ仕様(オプション光源)	使用レーザ	MLX-D13-473-20　キコー技研社製
	JIS 安全クラス	3B
	光学レンズ部	φ6.4 非球面ガラスレンズ
	レーザ光波長	473[nm] ±10 [nm]
平凸レンズ仕様	レンズ	SLB-30-60P　シグマ光機社製
	外形	φ30 [mm] +0～-0.1 [mm]
	焦点距離	60 [mm] ±1%

表 16-4. レーザ操作管理機 PLS-100-L

項目	詳細
供給電源	AC100V ±10% 又は AC200V ±10%
周波数範囲	50Hz / 60Hz
消費電力	6.3VA 以下
ウォームアップラン	30 分以上
外形寸法	150(W)×211(H)×305(D) mm
重量	3.0kg

16-2. ソフト仕様

表 16-5. ソフト仕様

項目	詳細
対応 OS	Microsoft® Windows7　Professional **Microsoft® Windows7　Home Premium** **※Windows7　Home Premium　64bit を推奨**
動作環境	CPU:　インテル Core i3 程度推奨 メモリ:　2GB 以上 ハードディスク空き容量:　10GB 程度 ディスプレイ解像度:　1280×1024 ピクセル以上 外部インターフェース:　USB ポート ×2 以上
プログラム名	PSL-100_64.exe PSL-100_32.exe
ソフト機能	データ解析　データテーブル作成 解析プロット図描画 ①短絡電流密度 vs 電子拡散係数測定 ②短絡電流密度 vs 電子寿命 ③電子密度 vs 電子寿命 ④電子密度 vs 開放電圧
計測項目	電子拡散係数(D)測定 電子寿命(τ)測定 電子密度(n)測定 I-Vカーブ測定

16-3. ケーブル仕様

表 16-6. ケーブル仕様

ケーブル名	詳細
出力ケーブル	材質:　MVVS 径:　4 芯×0.5mm^2 シールド付 仕上外形:　φ6.5mm 先端処理:　ワニロクリップ加工
電源ケーブル	材質:　VCTF 径:　3 芯×1.25mm^2 仕上外形:　φ7.8mm 先端処理:　3P プラグ(日本国内仕様)
通信ケーブル	USB2.0 準拠ケーブル A コネクタ⇔ミニ B コネクタ

16-4. 寸法図

1. システム外形

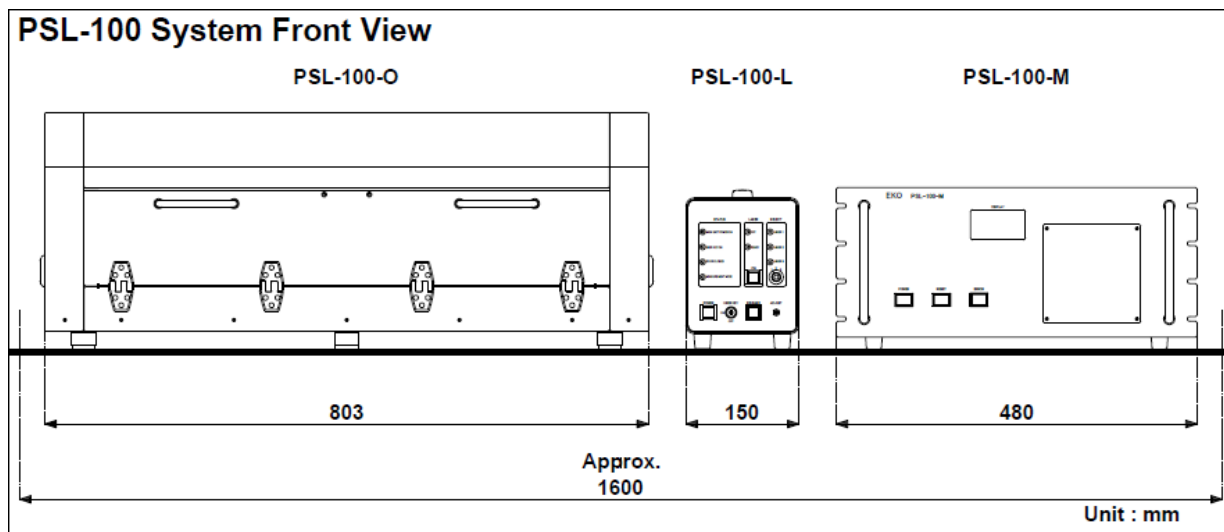



図 16-1. PSL-100 システム前面

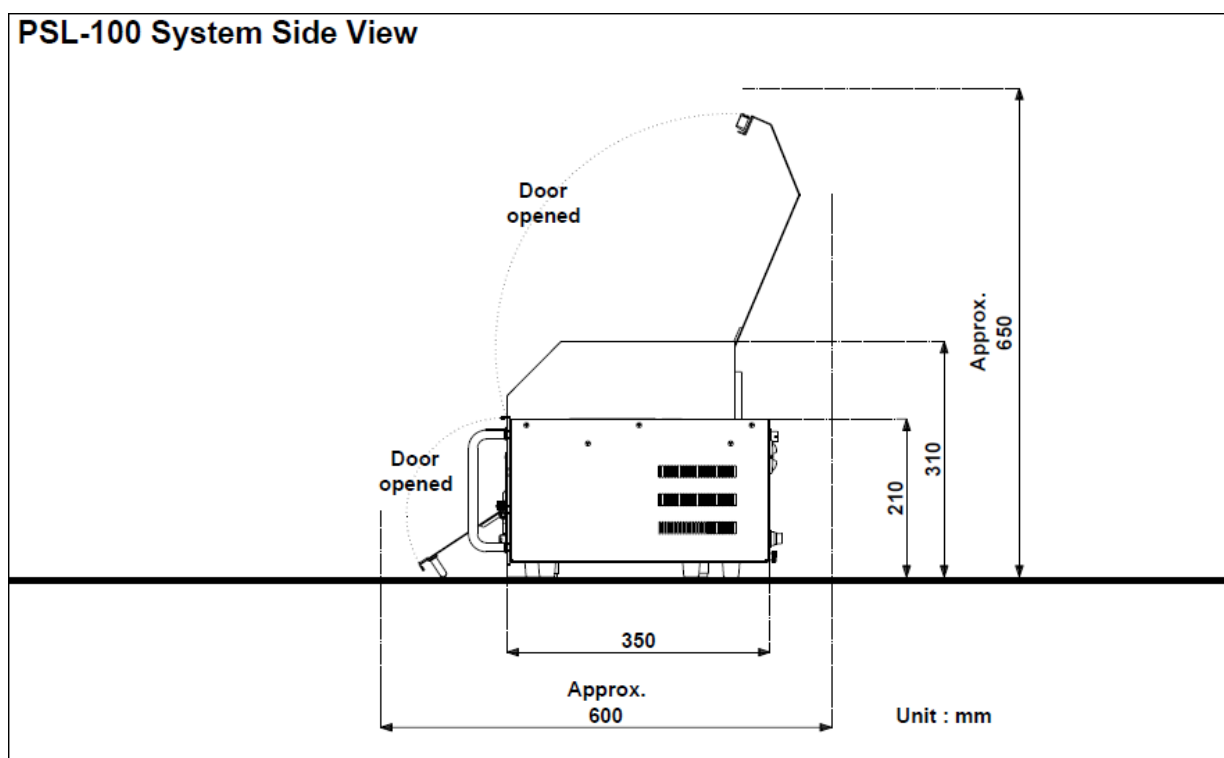



図 16-2. PSL-100 システム側面

2. 構成機器外形

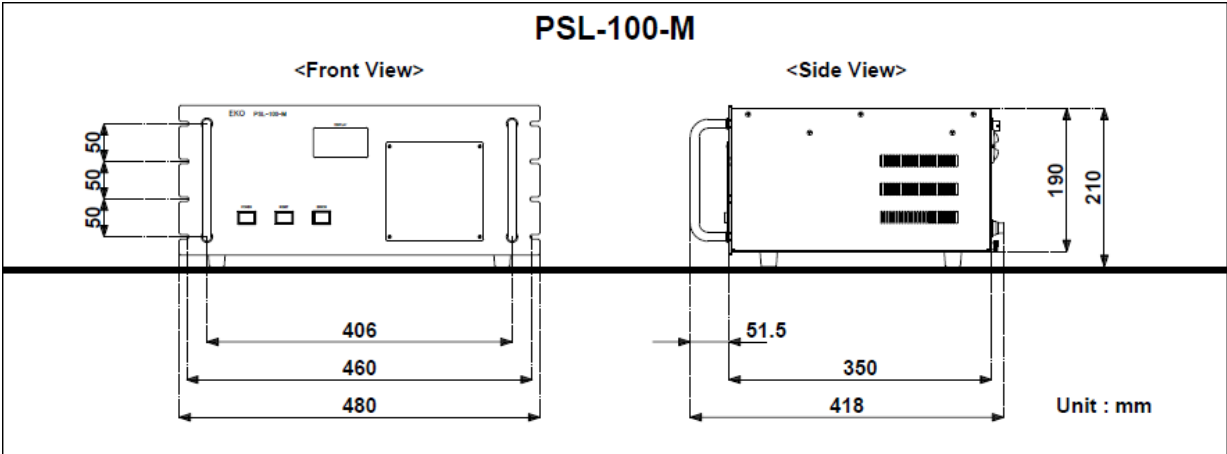



図 16-3. PSL-100-M 寸法図

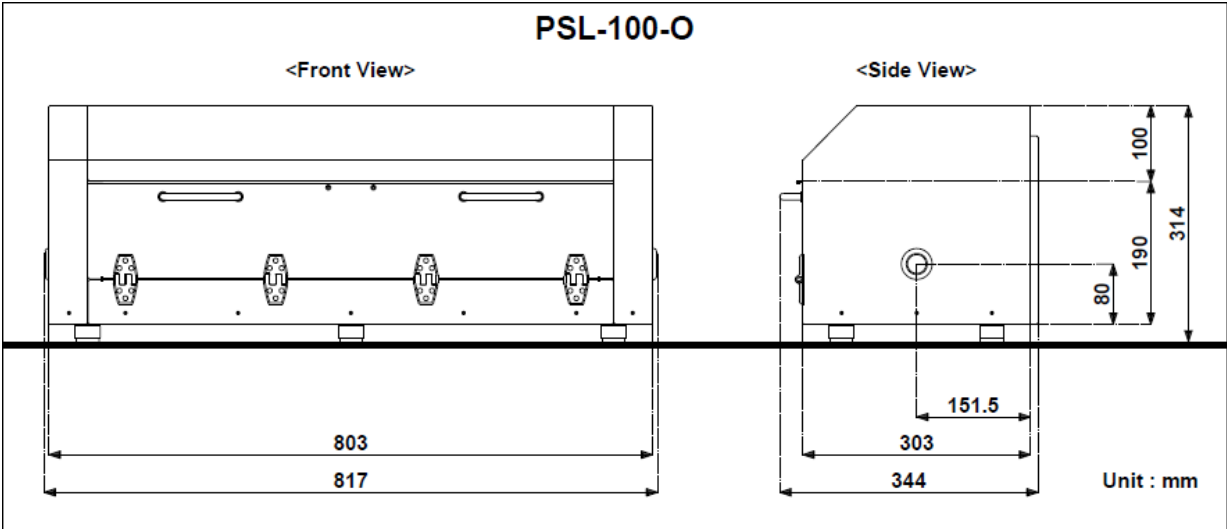



図 16-4. PSL-100-O 寸法図

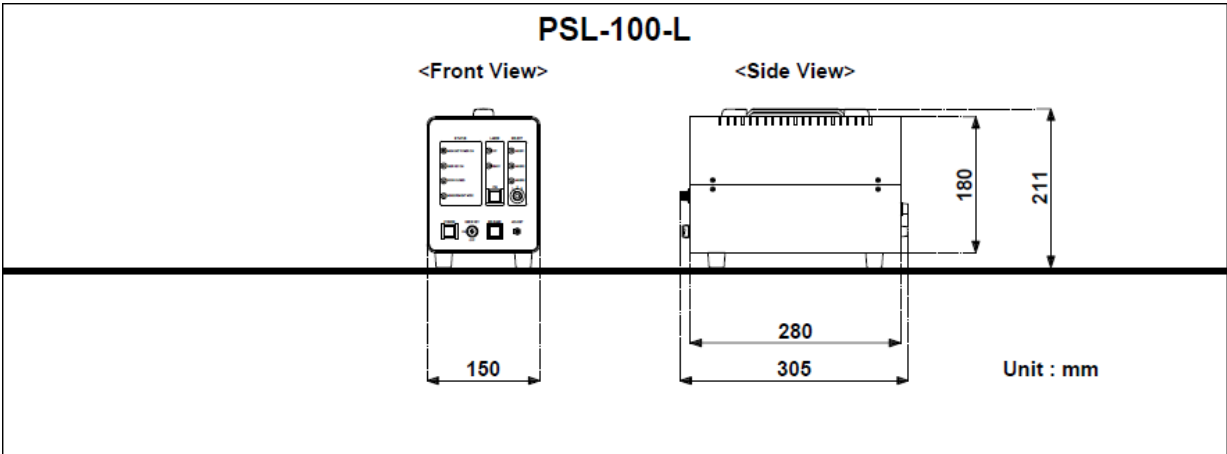



図 16-5. PSL-100-L 寸法図

16-5. オプション品リスト

表 16-7. オプション品一覧

オプション品	詳細
473nm波長　半導体レーザ	MLX-D13-473-20　キコー技研社製 ・JIS安全クラス:　3B ・光学レンズ部:　φ6.4　非球面ガラスレンズ ・レーザ光波長:　473[nm] ±10 [nm]

APPENDIX

A-1. ソフトウェアのインストールと削 除

色素増感太陽電池評価装置PSL-100による測定操作は、全て専用のソフトウェアによって行われます。

本システム出荷時には最新のソフトウェアがインストールされておりますが、ご自身で別のPCにソフトウェアをインストールされる場合、もしくは将来的にソフトウェアバージョンアップの必要が生じた場合には本項をご参照ください。

本ソフトウェアの対応しているOSは次のとおりです。

◇ Microsoft® Windows 7　Professional　64bit or 32bit
◇ Microsoft® Windows 7　Home Premium　64bit or 32bit

※　この他のWindowsOS(Vista等)における動作確認はとれておりません。予めご了承願います。

ここでは、まず専用ソフトウェアのインストーラパッケージに関する説明をした後、対応OSである"Windows7"の「インストール方法」、「削除方法」について説明します。

尚、PSL-100ソフトウェアが既にインストールされているPCに、新たなインストールを行うことはできません。
この場合、先にインストールされているPSL-100ソフトウェアを削除した後、新たなインストールを行ってください。

又、「Windows®」自体の操作方法詳細につきましては、各OSの「ヘルプ(H)」機能等を参照ください。

1. 専用ソフトウェアのインストーラとOS仕様

(1)　付属セットアップディスク
本システム出荷時、付属品として「セットアップディスク」が同梱されております。
このディスクの中に、専用ソフトウェアのインストーラパッケージおよび、通信用ドライバーが入っております。

ディスクの内容は次のようになっております。

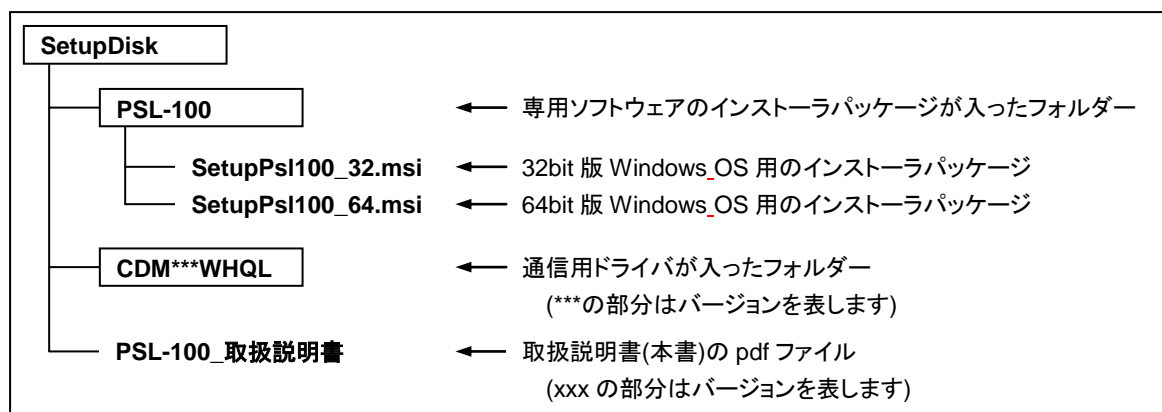



図 A-1-1. 付属セットアップディスクの構成

(2) インストール用PCのOS仕様確認

本システム付属のソフトウェアは、インストールを行うPCのWindows OS仕様(64bit版又は32bit版)によりインストーラパッケージが異なります。

インストールを行うPCが、

- ◇ 32bit版Windows OSの場合には[SetupPsl100_32.msi]インストーラパッケージを、
- ◇ 64bit版Windows OSの場合には[SetupPsl100_64.msi]インストーラパッケージを

用います。(図A-1-1)

ここでは、ソフトウェアをインストールする際、どちらのインストーラパッケージを摘要するか判別(OS仕様を確認)する方法について説明します。

PC画面内、「デスクトップ」左下にあります[スタートボタン]→[コンピューター]を選択します。
次図(図A-1-4)のように「コンピューター」画面が起動しますので、画面内上部のタブから[システムのプロパティ]を選択します。

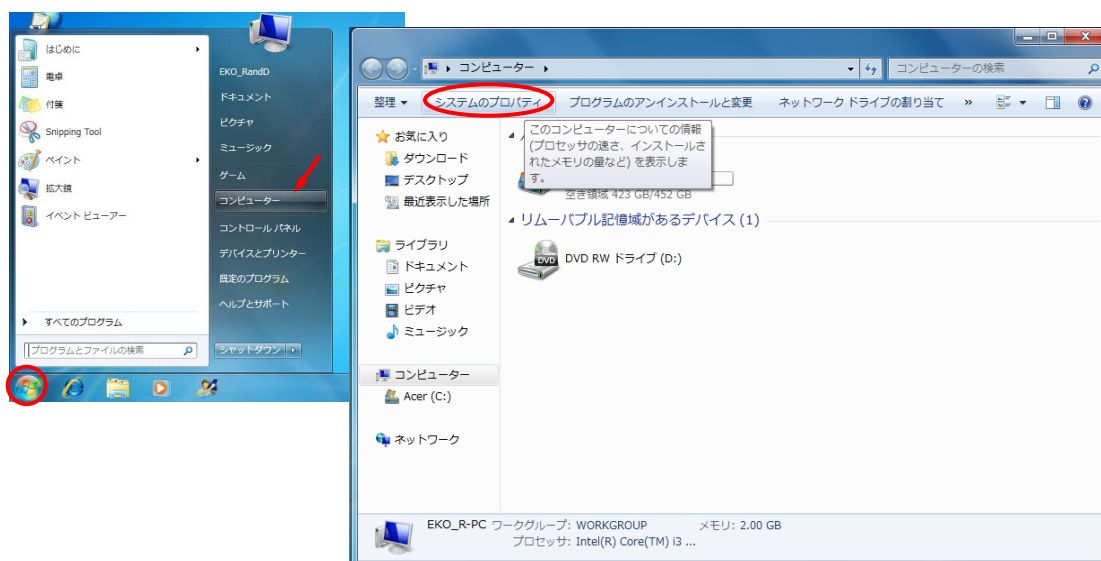



図 A-1-4. 「コンピューター」画面の起動

次図(図A-1-5)のように「システムのプロパティ」画面が起動しますので、この画面内[システムの種類:]からバージョン番号を確認します。

＜32bit 版 OS＞

図 A-1-5. システムのプロパティ

ここで、[システムの種類:]の横に

◇　[32ビット　オペレーティング　システム]　と表示されている場合は

[SetupPsl100_32.msi]　インストーラパッケージを、

◇　[64ビット　オペレーティング　システム]　と表示されている場合は

[SetupPsl100_64.msi]　インストーラパッケージを、

それぞれ用います。

2. 専用ソフトウェアのインストール

ここでは、専用ソフトウェアをPCへインストールするための手順について説明します。

(1)　インストールを行うPCの電源を投入し、「CDドライブ」へ付属の「セットアップディスク」を挿入します。
「CDドライブ」内の[PSL-100]フォルダーへと進み、インストールするPCのWindows　OSが32bit版の場合は **[SetupPsl100_32.msi]**を選択、64bit版の場合は、**[SetupPsl100_64.msi]**を選択し、「セットアップウィザード」を起動させます。

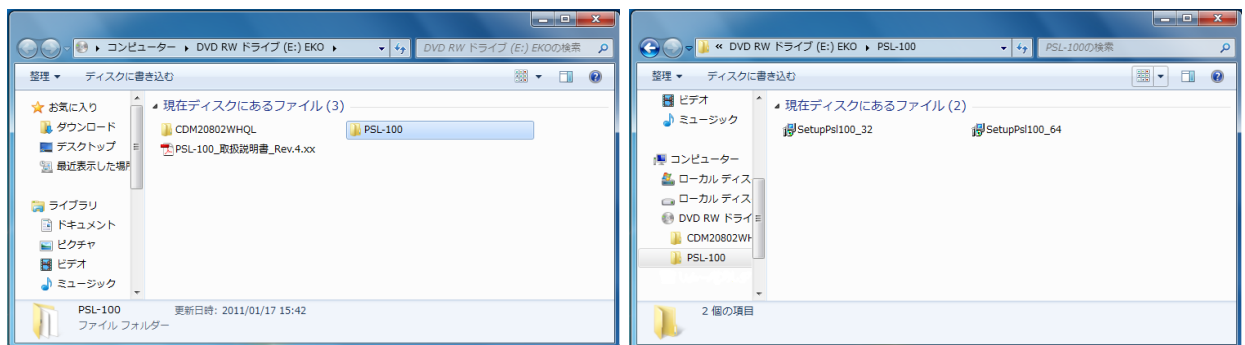



図 A-1-6.　インストーラパッケージの選択

(2)　「セットアップウィザード」が起動しますと、「ようこそ」画面(図A-1-7)となります。
画面下部の[WARNING:]をお読み頂き、問題がなければ[Next>]ボタンを押し、セットアップを開始します。

(3)　続いて、「インストールホルダの選択」画面(図A-1-8)へと進みます。
ここでは、ソフトウェアのインストール先フォルダーを指定します。
デフォルトでは、"C:¥Program　Files"　の下に　"¥EKO¥PSL-100"　フォルダーを自動作成し、その中へソフトウェアの実行に必要となるファイルをインストールします。

フォルダー指定は、任意の場所とすることもできます。
この場合、[Brows...]ボタンを使用しフォルダーを指定するか、[Folder:]部分に直接パスを記入してください。

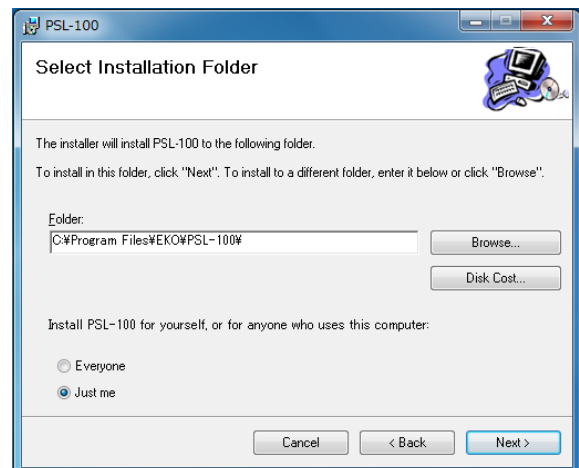



図 A-1-7.　セットアップウィザード[1]　　図 A-1-8.　セットアップウィザード[2]

又、画面下部のラジオボタンにより、インストールしたソフトウェアの権限を[Everyone](全てのユーザー)又は、[Just me](このユーザーのみ)の何れかに設定できます。

全ての設定が完了しましたら、[Next>]ボタンを押します。

(4) 次に「インストールの確認」画面(図A-1-9)へと進みます。
ここまでの設定に問題がなければ[Next>]ボタンを押します。

以上により、インストールが開始されます。(図A-1-10)

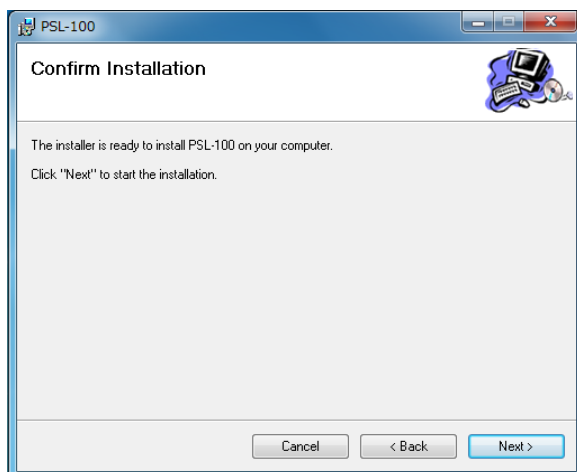
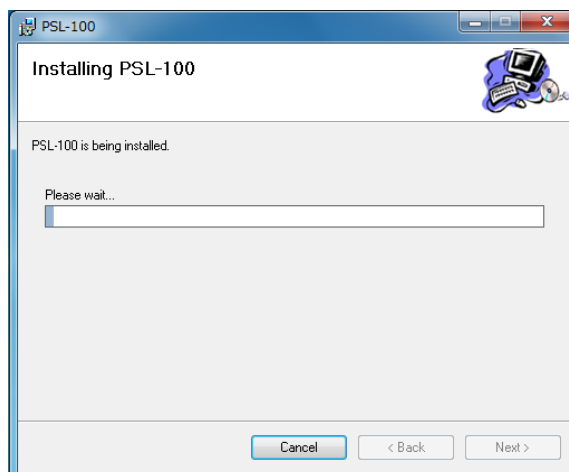



図 A-1-9. セットアップウィザード[3]　　図 A-1-10. セットアップウィザード[4]

(5) インストールが完了しますと、「インストールが完了しました」画面(図A-1-11)が表示されます。
[Close]ボタンを押し、終了してください。

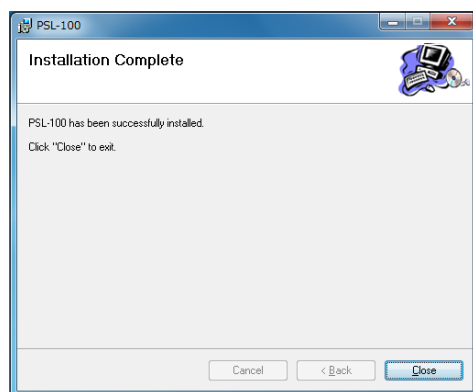



図 A-1-11. セットアップウィザード[5]　　図 A-1-12. ショートカットの追加

(6) 専用ソフトウェアがインストールされますと、デスクトップ上に[**PSL-100_32**]又は[**PSL-100_64**]ショートカットが追加されます。(図A-1-12)

又、プログラムメニュー[PSL-100]の中に、[**PSL-100_32**]、[**PSL-100 Language Selector_32**]又は、[**PSL-100_64**]、[**PSL-100 Language Selector_64**]が追加されます。(図A-1-12)

3. 通信用ドライバーのインストール

本装置では、専用ソフトウェアがインストールされているPCと計測装置本体(PSL-100-M)間のデータ送受信を、「シリアル通信」で行っています。

この通信に際し、本システムでは「Future Technology Devices International Ltd.(以下FTDI社と略す)」の“Virtual COM Port(VCP)”技術を採用しております。

ここでは、この“Virtual COM Port”による「シリアル通信」を行うためにFTDI社から提供される、通信用ドライバーのインストール方法について説明します。

(1) インストールを行うPCの電源を投入し、「CDドライブ」へ付属の「セットアップディスク」を挿入します。

(2) PCと計測装置本体(PSL-100-M)間を「USBケーブル」で接続し、計測装置本体の主電源を投入します。

(3) 計測装置本体は認識されますが、デスクトップ画面右下に、下図(図A-1-25)のような「メッセージ」が表示されます。

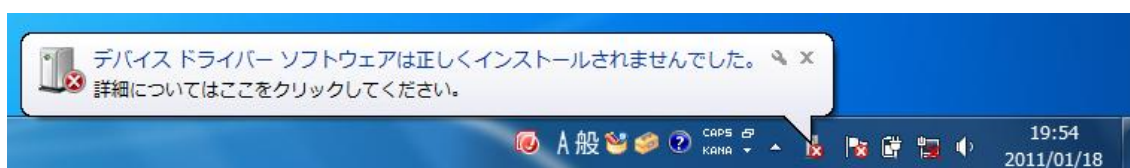



図 A-1-25. メッセージの表示

(4) [スタートボタン]→[コントロールパネル]を選択ます。
「コントロールパネル」画面の項目内から[システムとセキュリティ]を選択します。
「システムとセキュリティ」画面の項目内から[デバイスマネージャー]を選択します。

図 A-1-26. デバイスマネージャー呼出

(5)　「デバイスマネージャー」画面内に[ほかのデバイス]として[USB <->Serial]という項目があります。
この項目上で右クリックし、現れたメニューの中から[ドライバーソフトウェアの更新(P)...]を選択します。(図A-1-27)

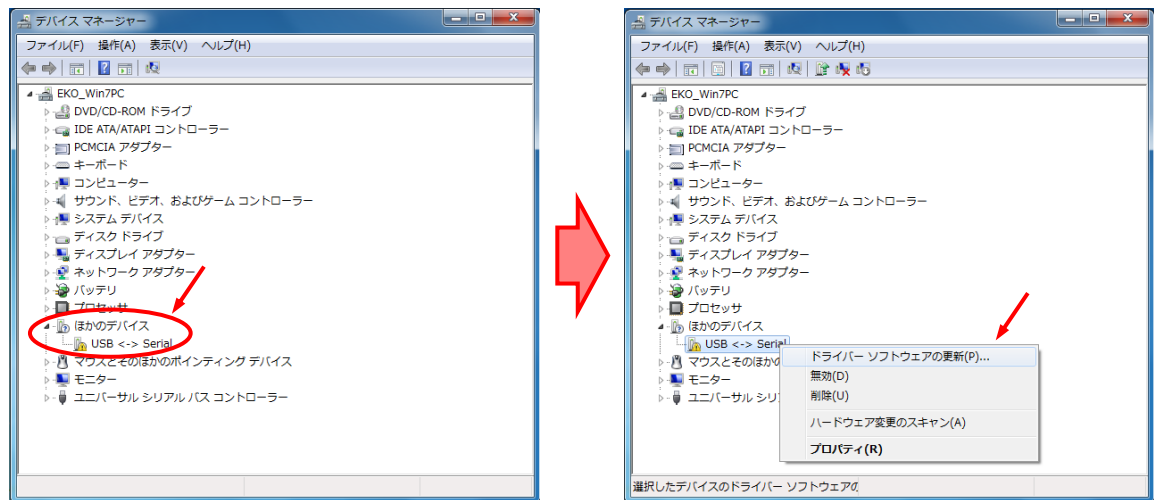



図 A-1-27. ドライバーソフトウェアの更新

(6)　ドライバーソフトウェアの検索方法を選択する画面(図A-1-28)へ進みますので、[コンピューターを参照してドライバーソフトウェアを検索します(R)]をクリックします。

ドライバーソフトウェアの参照先を指定する画面(図A-1-29)へ進みますので、[次の場所でドライバーソフトウェアを検索します：]の欄にPCのCDドライブ(図の例ではE:¥ドライブ)を指定し、[サブフォルダーも検索　する(I)]へチェックマークを入れた後[次へ(N)]ボタンを押します。

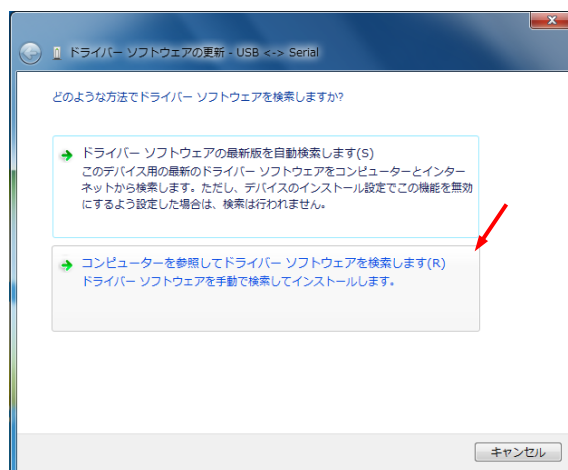
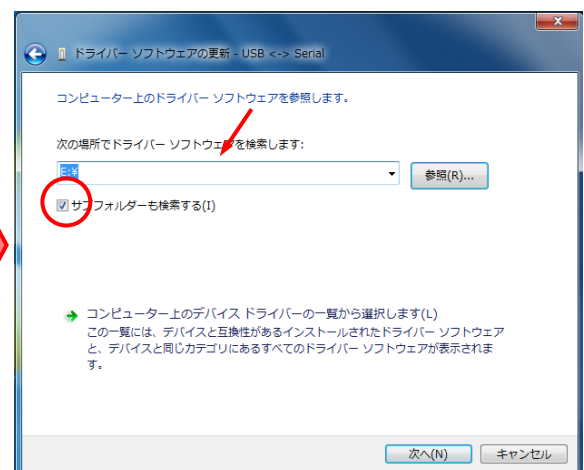



図 A-1-28. ドライバー検索方法指定　　図 A-1-29. ドライバー検索先指定

(7)　自動的にインストールが開始され、次図(図A-1-30)が表示されますと“USB Serial Converter”ドライバーの更新が完了します。

[閉じる(C)]ボタンを押しますと、「デバイスマネージャー」画面(図A-1-31)の[ユニバーサル シリアル バスコントローラー]一覧内に[USB Serial Converter]が追加されます。

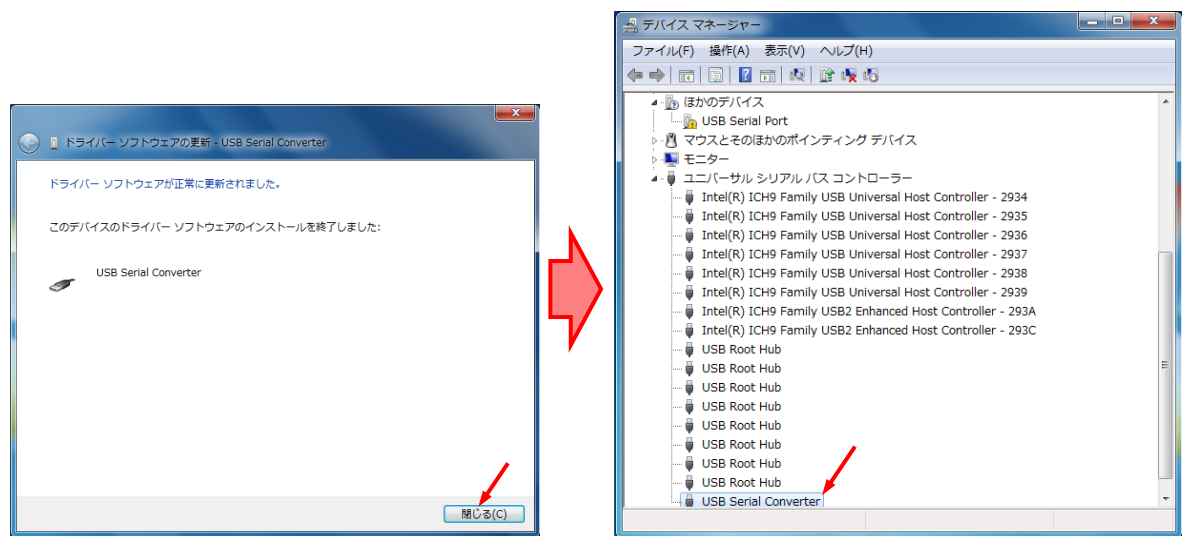
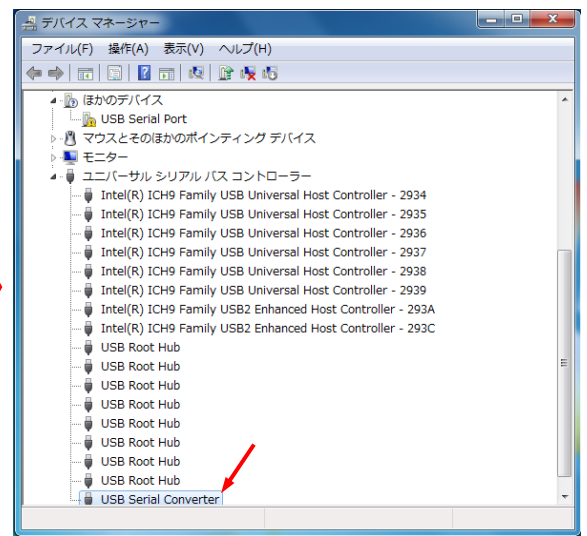



図 A-1-30. ドライバー更新完了　　　　図 A-1-31. デバイスマネージャー画面

(8)　“USB Serial Converter”ドライバーがインストールされますと、同「デバイスマネージャー」画面(図A-1-32)に[ほかのデバイス]として[USB Serial Port]という項目が現れます。

引き続き、“USB Serial Port”ドライバーのインストールを行います。

この項目上で右クリックし、現れたメニューの中から[ドライバーソフトウェアの更新(P)...]を選択します。(図A-1-32)

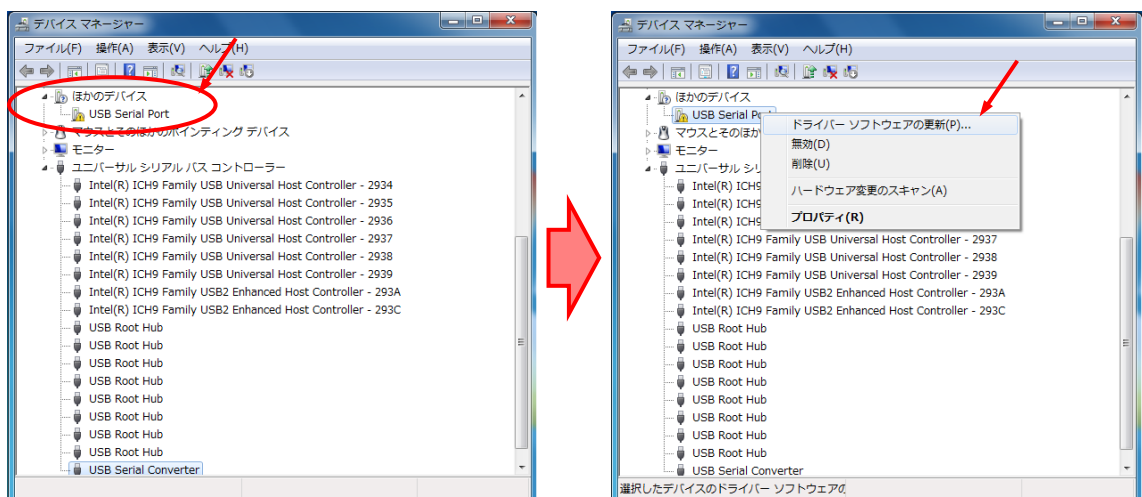



図 A-1-32. ドライバーソフトウェアの更新

(9)　ドライバーソフトウェアの検索方法を選択する画面(図A-1-33)へ進みますので、[コンピューターを参照してドライバーソフトウェアを検索します(R)]をクリックします。

ドライバーソフトウェアの参照先を指定する画面(図A-1-34)へ進みますので、[次の場所でドライバーソフトウェアを検索します:]の欄にPCのCDドライブ(図の例ではE:¥ドライブ)を指定し、[サブフォルダーも検索　する(I)]へチェックマークを入れた後[次へ(N)]ボタンを押します。

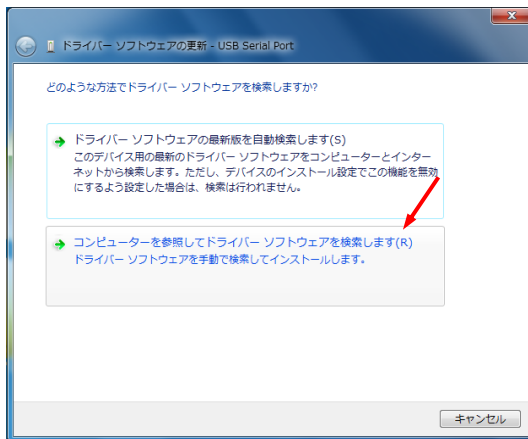
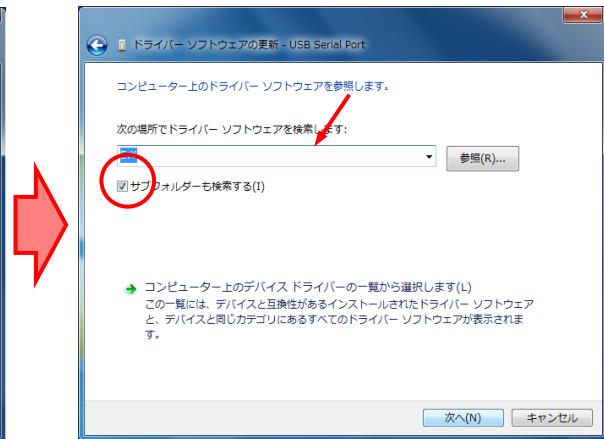



図 A-1-33. ドライバー検索方法指定　　図 A-1-34. ドライバー検索先指定

(10)　自動的にインストールが開始され、次図(図A-1-35)が表示されますと"USB Serial Port"ドライバーの更新が完了します。

[閉じる(C)]ボタンを押しますと、「デバイスマネージャー」画面(図A-1-36)の[ユニバーサル　シリアル　バスコントローラー]一覧内に[USB Serial Converter]が追加されます。

以上で通信用ドライバーのインストールは完了し、使用可能となります。

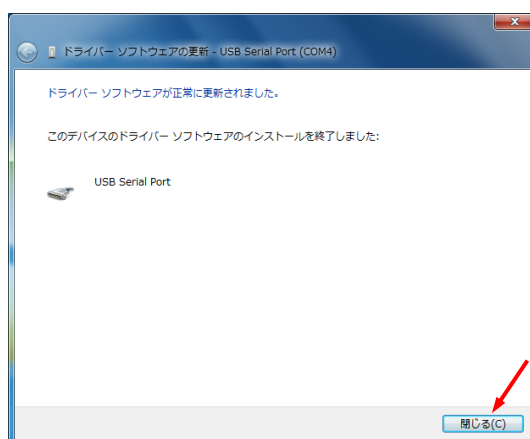
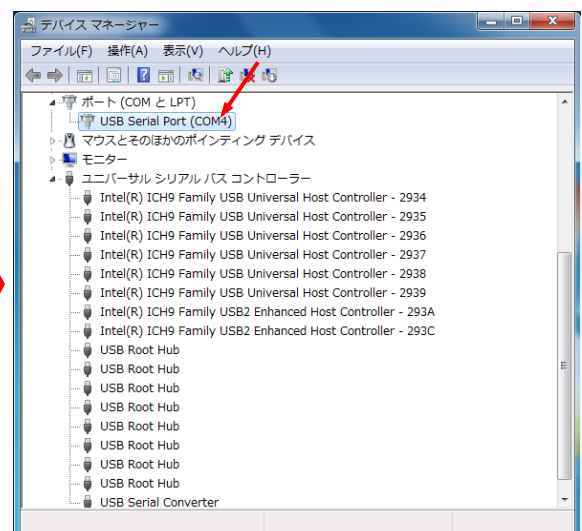



図 A-1-35. ドライバー更新完　　図 A-1-36. デバイスマネージャー画面

4. 専用ソフトウェアの削除

専用ソフトウェアをPCから削除する手順について以下に記します。

将来的にソフトウェアのバージョンアップを行う際には本手順に従い、必ず旧バージョンのソフトウェアを削除してからインストール作業を行ってください。

(1) PC画面内、「デスクトップ」左下にあります[スタートボタン]→[コントロールパネル]を選択し、「コントロールパネル」画面を起動します
「コントロールパネル」画面内から[プログラムのアンインストール]を選択します。(図A-1-40)

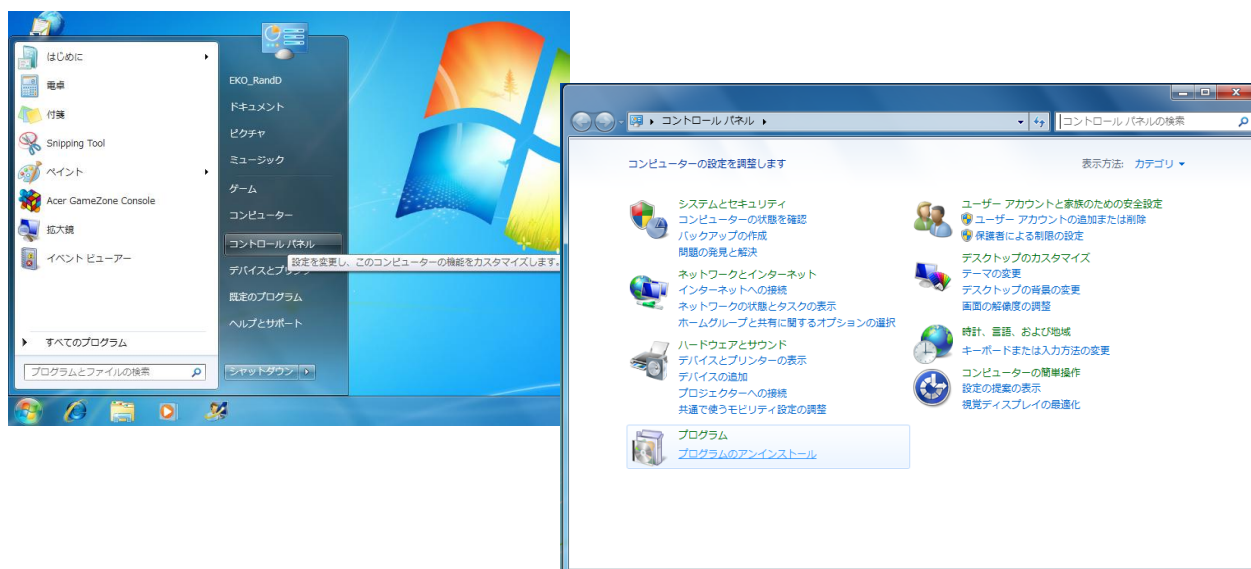



図 A-1-40. コントロールパネル画面

(2) 「プログラムのアンインストールまたは変更」画面内のプログラム一覧から[PSL-100]を選択し、[アンインストール]ボタンをクリックします。(図A-1-41)

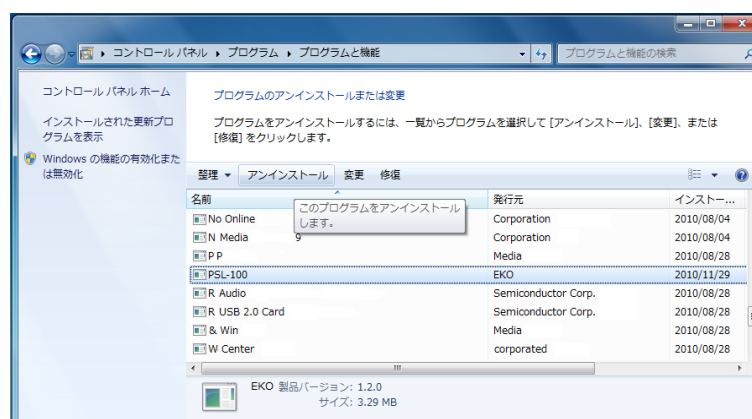



図 A-1-41. プログラムのアンインストール又は変更画面

(3) 確認を求める画面(図A-1-42)が現れた場合には、[はい(Y)]をクリックします。
以上でソフトウェアが削除されます。

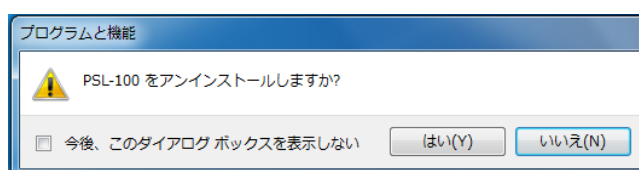



図 A-1-42. アンインストール確認画面

5. 通信用ドライバーの削除

通信用ドライバーをPCから削除する手順について以下に記します。

将来的に通信用ドライバーのアップデートを行う際には本手順に従い、必ず旧バージョンのドライバーを削除してからインストール作業を行ってください。

OSの「デバイスマネージャー」画面から通信ドライバーを削除します。

(1)　計測装置本体とPCの間をUSBケーブルで**接続してください**。

(2)　デスクトップ画面左下にあります[スタートボタン]→[コントロールパネル]を選択します。
「コントロールパネル」画面の項目内から[システムとセキュリティ]を選択します。
「システムとセキュリティ」画面の項目内から[デバイスマネージャー]を選択します。

図 A-1-50. デバイスマネージャー呼出

(3)　「デバイスマネージャー」画面内、[ポート(COMとLPT)]に[USB　Serial　Port(COM*)]項目があります。(“COM*”の“*”はポート番号を示します。)

この項目上で右クリックし、現れたメニューの中から[削除(U)]を選択します。(図A-1-51)

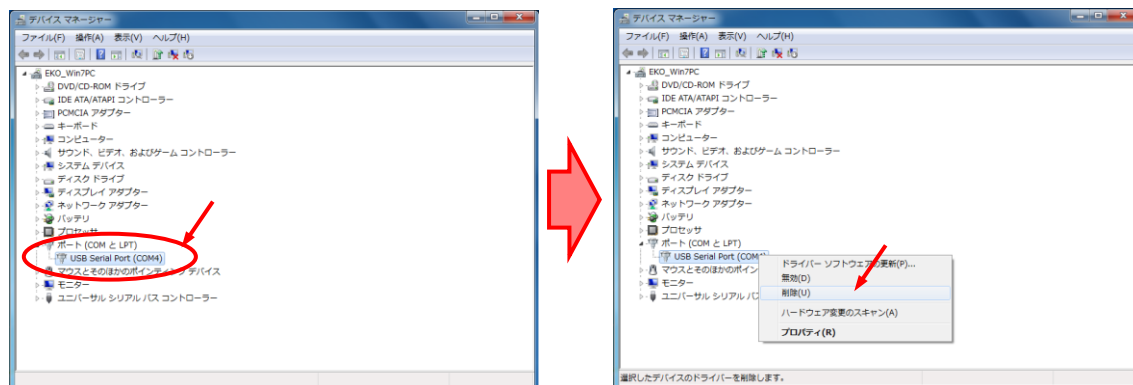



図 A-1-51. デバイスマネージャー画面(ポート)

(4)　アンインストールの確認画面(図A-1-52)が表示されます。
[このデバイスのドライバーソフトウェアを削除する]にチェックマークを入れ、[OK]ボタンを押下します。
アンインストールが完了しますと、「デバイスマネージャー」画面から[USB　Serial　Port(COM*)]項目が消えます。

図 A-1-52. アンインストール確認画面

(5)　次に、同「デバイスマネージャー」画面内、[ユニバーサル　シリアル　バス　コントローラー]を確認します。
一覧から[USB Serial Converter]項目を探し、その上で右クリックします。
現れたメニューの中から[削除(U)]を選択します。(図A-1-53)

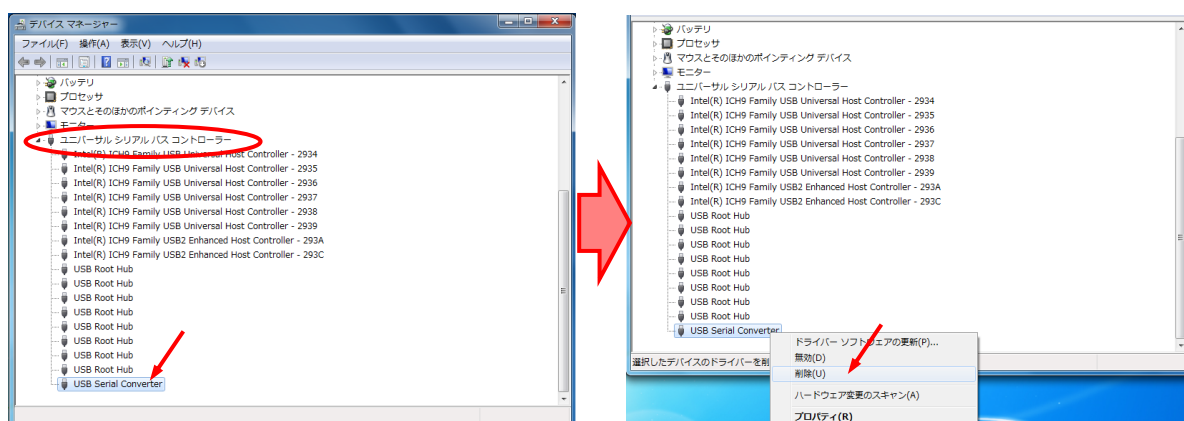



図 A-1-53. デバイスマネージャー画面(USB)

(6)　アンインストールの確認画面(図A-1-54)が表示されます。

［このデバイスのドライバーソフトウェアを削除する］にチェックマークを入れ、［OK］ボタンを押下します。

アンインストールが完了しますと、「デバイスマネージャー」画面から［USB Serial Converter］項目が消えます。

図 A-1-54. アンインストール確認画面

以上で、通信用ドライバーの削除作業は終了です。

A-2. 測定に用いるDSCセル外形について

1. セル設置可能領域(標準セルホルダー)

測定時、DSCセルを設置する標準セルホルダーの外観は右写真(図A-2-1)となります。
ホルダーバー支持部に測定対象となるDSCセルを設置し、ホルダーバー押さえ部をスライドさせて固定する構造となっております。
このことからホルダーへのDSCセル設置可能領域は、上下バー及び左右のガイドレールに囲まれた領域で制限されることになります。

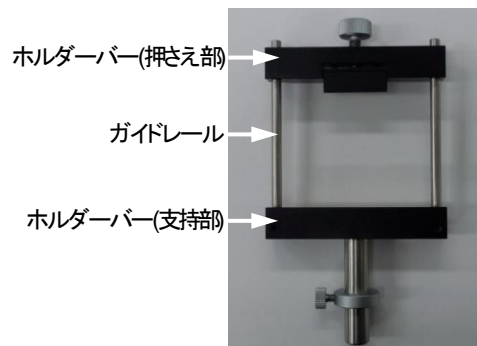



図 A-2-1. 標準セルホルダー外観

次図(図A-2-2)はホルダーの外形寸法となります。
正面寸法図にありますとおりセル設置可能領域は、縦・横ともに60mmとなります。
又、設置時のDSCセル安定を考慮し、奥行き方向はホルダーバー支持部の幅と同じ12mm以内として頂くことをお勧めしています。

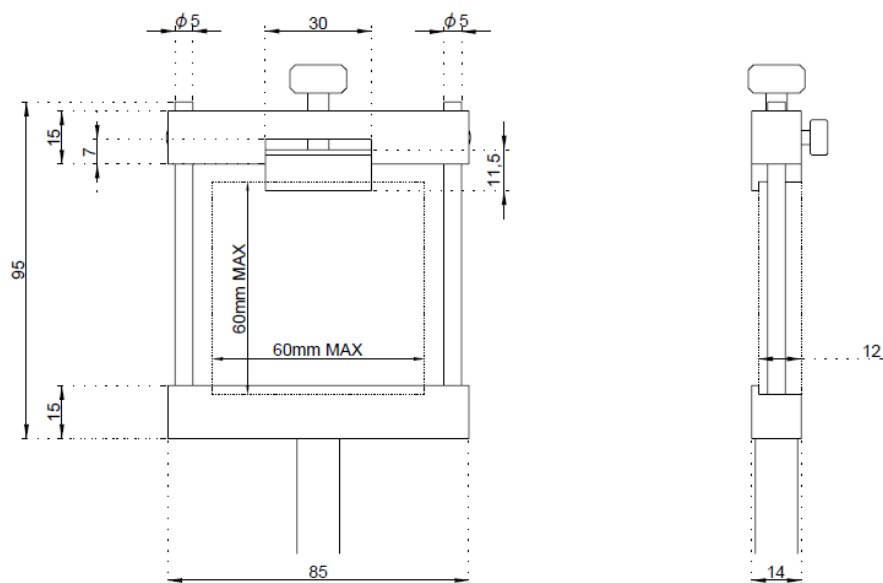



図 A-2-2. 標準セルホルダー外形寸法図

2. DSCセルへのケーブル接続

PSL-100ではDSCセルから出力される「電圧」,「電流」を計測するため、セル透明導電性ガラスの集電部にケーブルを接続します。

このケーブルはクリップ加工されており、多くの場合透明導電性ガラスの集電部を直接クリップで挟むことにより接続します(図A-2-3)。

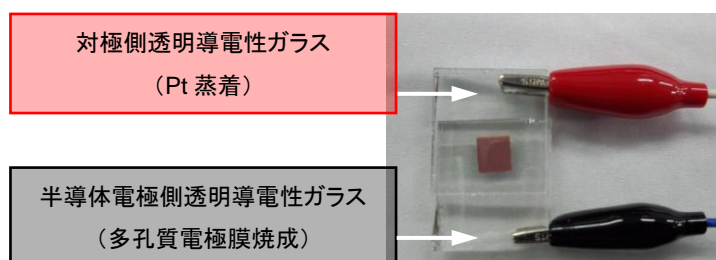



図 A-2-3. セルへのケーブル接続

尚、セル透明導電性ガラスへクリップを挟む際の「挟みしろ」は、クリップの形状から少なくとも5mm程度必要となります(図A-2-4)。

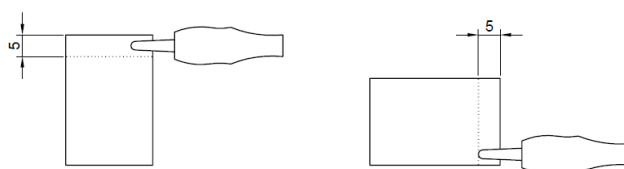



図 A-2-4. クリップ挟みしろ

3. 測定に用いるDSCセル受光面積と外形

測定に用いるDSCセルの有効受光面積(多孔質半導体電極焼成部)は、概ね10mm×10mm程度として頂けますようお願い致します(図A-2-5)。

これはPSL-100システム光学部(レーザ光強度，光路長)に依存する部分で、DSCセル有効受光面積全体均一に光照射をおこなうための制限となります。

又、励起光源となるレーザからの光照射の際、セル有効受光面積部にセルホルダーのバー及びガイドレールの影がかからないよう、透明導電性ガラス端面から受光面縁までのマージンを10mm程度とって頂くことをお勧めしています。

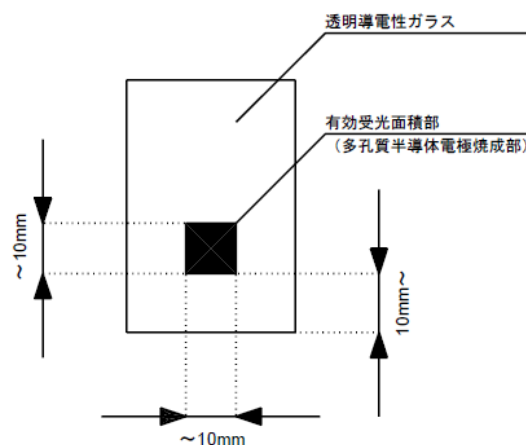



図 A-2-5. DSC セル有効受光面積

加えて、先述のとおり測定に用いるDSCセルの外形目安は下記となります。

① 60mm×60mm角のセル設置領域に収まること(奥行き12mm以内)

② DSCセルの出力集電用に5mm程度のクリップ挟みしろがあること

以下に、PSL-100システムによる測定で多く用いられるDSCセルの外形例を図示しますので参考としてください。

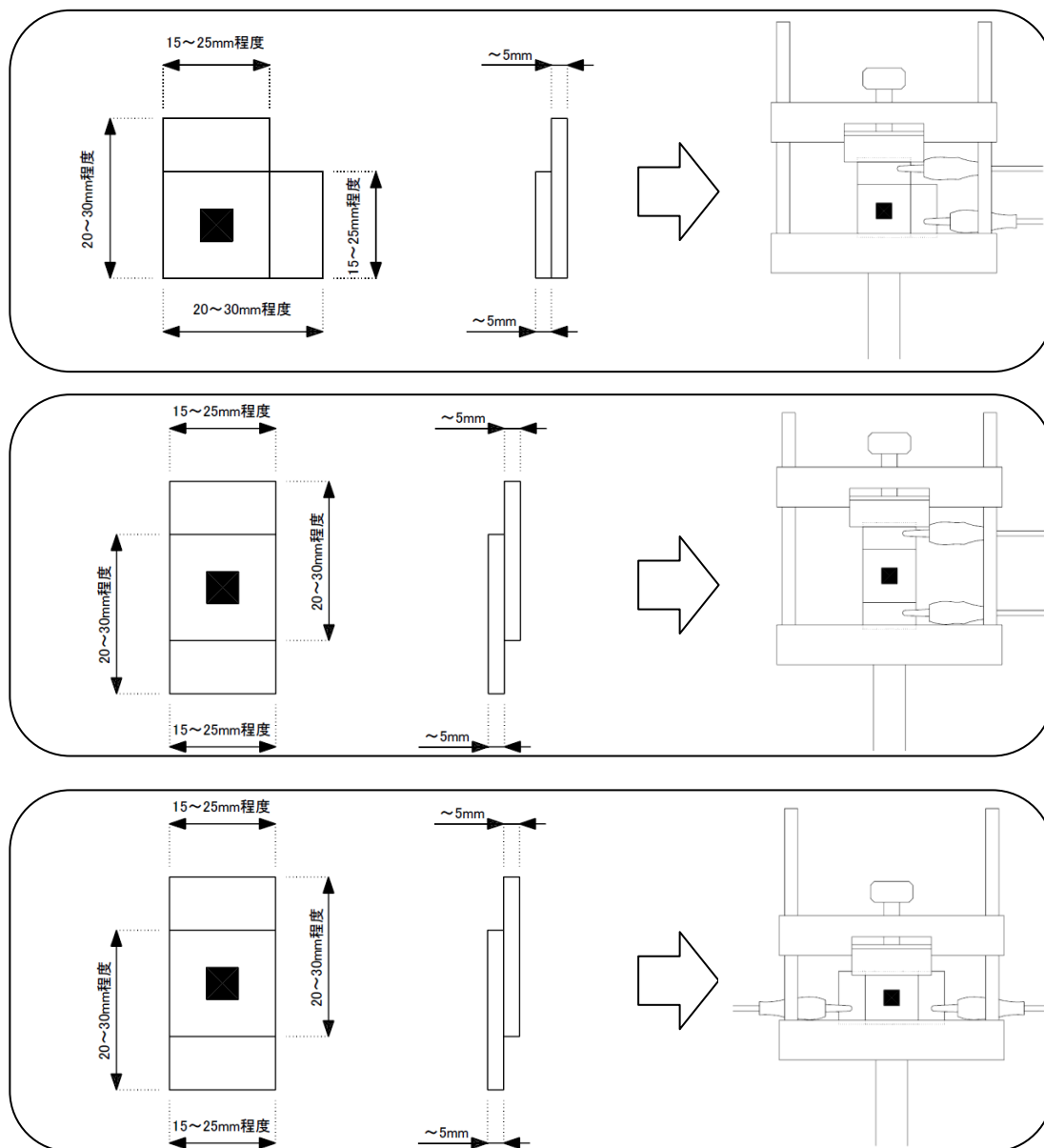



図 A-2-6. セル外形例とホルダー設置イメージ

尚、測定に用いるDSCセルは各研究機関，製造(製作)工程などで様々な形状となります。
上記、標準セルホルダーでの測定が困難な場合には、用いるDSCセルに適した光学部品の再選定，専用セルホルダーの試作など対応致しますのでご相談ください。